



Une approche économétrique pour l'analyse de l'impact médico-économique des systèmes d'information hospitaliers

Rodolphe Meyer

► To cite this version:

Rodolphe Meyer. Une approche économétrique pour l'analyse de l'impact médico-économique des systèmes d'information hospitaliers. Santé publique et épidémiologie. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2010. Français. NNT : 2010PA066308 . tel-00815254

HAL Id: tel-00815254

<https://theses.hal.science/tel-00815254>

Submitted on 18 Apr 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**THÈSE DE DOCTORAT DE
L'UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE**

Spécialité

**Santé Publique
Épidémiologie et Sciences de l'Information Biomédicale**

Présentée par

M. Rodolphe Meyer

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR de l'UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE

Sujet de la thèse :

**Une approche économétrique pour l'analyse de l'impact médico-économique des systèmes
d'information hospitaliers.**

Soutenue le 27 septembre 2010

Devant le jury composé de :

M. le Professeur Patrice Degoulet, Directeur de thèse
M. le Professeur Régis Beuscart, Rapporteur
Mme. le Professeur Anita Burgun, Rapporteur
M. le Professeur Antoine Geissbuhler, Examineur
M. le Professeur Alain Mallet, Examineur
M. le Professeur Alain Venot, Examineur

À Céline, mon épouse, elle sait pourquoi...

À ma mère et à mon père, ils savent eux aussi...

*À tous ceux qui ont servi, servent et serviront un jour la grenade à sept flammes sous le
fanion vert et rouge de l'honneur et de la fidélité. Là, c'est moi qui sais...*

Remerciements :

Je tiens à remercier en tout premier lieu le professeur Patrice Degoulet qui a dirigé cette thèse dans la continuité de mon stage de Master. Son argument a été simple : « vous avez été major du Master, il faut faire une thèse sur le sujet ! ». J'étais encore militaire à l'époque et cela m'a paru une raison suffisante... Tout au long de ces trois années et demie, il a su orienter mes recherches aux bons moments en me faisant découvrir la science autant que l'art de la rédaction de publications scientifiques. Il a toujours été disponible sept jours sur sept pour d'intenses et rationnelles discussions. Pour tout cela, sa confiance et son soutien, je le remercie vivement.

Je remercie ensuite chronologiquement le Général Cordier, le Général Fiol et le professeur Antoine Geissbuhler. Ils ont été mes chefs de service successifs et m'ont accordé leur bienveillante confiance ainsi que les moyens d'arriver au but de ce travail.

Je remercie la professeure Marie-Christine Jaulent, qui m'a fait l'honneur de m'accueillir dans son unité INSERM, pour ses conseils et l'enthousiasme qu'elle a montré au cours de ces années pour mon travail.

Je remercie enfin M. Louis Omnes et tous les personnels de l'AP-HP qui m'ont ouvert la porte de leurs données ; ainsi que tous les scientifiques cités dans la bibliographie. Grâce à leur aide j'ai pu poser mon petit caillou sur la grosse pyramide...

Résumé en français :

Peu d'études ont été entreprises pour évaluer les bénéfices financiers des systèmes d'information hospitaliers (SIH), en particulier dans le contexte d'une stratégie globale, de type portfolio, d'informatisation des processus. Qui plus est, les résultats parfois contradictoires des premiers travaux amènent régulièrement les décideurs du milieu hospitalier à faire des choix basés essentiellement sur la valorisation financière de bénéfices organisationnels ou cliniques espérés mais non confirmés au regard des sommes importantes engagées. Ce travail illustre et discute, à partir d'exemples significatifs, les résultats et les limites des études visant à quantifier le retour sur investissement des SIH. De par leur nature intrinsèque, les méthodes comptables ne prennent pas en compte les aspects les moins tangibles de l'impact des technologies de l'information et de la communication (Tic). L'amélioration de la satisfaction des utilisateurs (professionnels et patients) est un exemple typique. L'impact potentiel est clair, mais reste complexe à traduire financièrement. Ces méthodes ont également tendance à sous-estimer certains aspects du capital Tic. Les approches comptables vont ainsi biaiser les études qui prennent en compte la production liée aux investissements Tic puisqu'une partie de la production analysée sera le fruit d'actifs invisibles sur un plan comptable. De plus l'acuité des modèles de calcul de retour sur investissement se dégrade en proportion de leur complexité. Pour compenser ces faiblesses, ce travail défend l'approche économétrique. L'économétrie est une branche de l'économie qui s'est développée afin d'appliquer des techniques de calcul mathématiques et statistiques aux principes de l'économie moderne. La mise en application des méthodes économétriques au niveau d'une entreprise (microéconomie) est possible. Dans ce cadre, la mesure de l'efficacité du capital se fait grâce à l'utilisation de fonctions de production ou de coût.

Dans ce travail il est montré que :

- Les fonctions de productions sont adaptables à l'analyse des Tic en milieu hospitalier ;
- L'impact des Tic est positif dans la production hospitalière et que cet impact est d'autant plus grand que les Tic ont un niveau élevé d'intégration ;
- Il est possible de construire un modèle prédictif précis à 0,61% d'écart de cet impact avec les investissements actuels ;
- Ce modèle permet de calculer autour de 10,6% la meilleure proportion d'investissements en Tic en milieu hospitalier.

Si les investissements Tic ont longtemps été considérés dans les hôpitaux comme un mal inéluctable, les études comptables ou économétriques publiées ces dernières années laissent penser qu'il pourrait s'agir d'un mal nécessaire. L'optimum de 10,6% trouvé par un modèle économétrique sur les données de l'AP-HP est peut-être surestimé si l'on accepte que la loi des rendements décroissants s'applique au secteur de la santé comme aux autres secteurs de l'économie. Ce chiffre est cependant largement supérieur aux chiffres constatés en France (1 à 2%) ou aux États-Unis (4 à 7%) et peut se comparer à ceux observés dans des secteurs forts dépendant des Tic comme la banque ou l'assurance (jusqu'à 16%). Dans les économies avancées, les Tic sont une source prometteuse de croissance de la productivité, mais elles n'auront que peu de contribution directe sur la performance globale d'un hôpital si elles ne sont pas combinées avec des investissements complémentaires dans le capital humain, les pratiques de travail, et certaines restructurations organisationnelles. L'évaluation de l'impact des Tic dans les hôpitaux doit franchir cette étape et prendre en compte la totalité des « inputs » avec la globalité des « outputs », quelle que soit la source de chacun d'eux.

Enfin ce travail milite pour le développement, à l'échelon français comme européen, d'un observatoire de l'état d'informatisation des hôpitaux, seul à même de mesurer, à moyen et long termes, l'impact des investissements qui devront nécessairement être effectués pour combler le retard français dans le secteur.

Mots clés en français :

Systèmes d'information hospitaliers,

Investissements,

Fonction de production,

Économétrie.

Titre en anglais :

An econometric approach to analyze the medico-economic impact of healthcare information technologies.

Résumé en anglais :

Few studies have been undertaken to assess the financial benefits of hospital information systems (HIS), particularly in the context of an overall portfolio type strategy. Moreover, the sometimes contradictory results of early works bring regularly the hospital decision makers' to make choices based primarily on the financial value of clinical or organizational benefits expected but not confirmed in the light of the high amounts invested. This work illustrates and discusses, from significant examples, results and limitations of studies to quantify the return on investment of HIS. By their very nature, accounting methods do not take into account the less tangible aspects of the impact of healthcare information technologies (HIT). Improved satisfaction of users (professionals and patients) is a typical example. The potential impact is clear, but still complex to translate financially. These methods also tend to underestimate certain aspects of the HIT capital. To achieve the best results these methods have to accumulate an exponentially increasing number of variables which might result in them failing as they become overly complex. In most cases, as the accuracy required increases, the amount of effort needed to feed the method rather than working the project also increases. Furthermore, all these financial methods, when used to evaluate a future investment, tend to be systematically biased against innovation. To compensate for these weaknesses, this work argues for the econometrics approaches. Econometrics is a branch of economics that has developed techniques to apply computational mathematics and statistics to the principles of the modern economy. The application of econometric methods in a company (microeconomics) is possible. In this context, the measurement of capital efficiency is achieved through the use of production functions or cost functions.

In this work it is shown that:

- The production functions are adaptable to the analysis of HIT in hospitals;
- The impact of HIT is positive for the hospital production and that this impact is even greater if the HIT have a high level of integration;
- It is possible to construct an accurate predictive model (0.61% precision) of this impact with existing investments;
- This model can compute that the best proportion of HIT investment in hospitals should be around 10.6% of global investments.

If ICT investments have long been seen in hospitals as a necessary evil, accounting or econometric studies published in recent years suggests that it could be a necessary evil. The optimum of 10.6% found by an econometric model on data from AP-HP may be overstated if one accepts that the law of diminishing returns applies to the health sector as in other sectors economy. However, this is much higher than the figures recorded in France (1-2%) or USA (4-7%) and can be compared to those observed in strong HIS dependent sectors, such as banking or insurance (up to 16%). In advanced economies, HITs are a promising source of productivity growth, but they will have little direct contribution to the overall performance of a hospital if they are not combined with complementary investments in human capital, work practices, and some organizational restructuring. Finally, this work argues for the development of a European observatory of the level of computerization in hospitals, which represents the only way to measure the medium and long term impact of HIT investments that will necessarily be made in the sector.

Les mots clés en anglais :

Healthcare information technologies,
Investments,
Production function,
Econometrics.

Intitulé et adresse de l'unité où la thèse a été préparée :

Le SPIM (Laboratoire de Santé Publique et Informatique Médicale) est un laboratoire universitaire de la faculté de médecine Paris 5.

Direction : Prs Patrice DEGOULET et Joël MENARD.

Adresse : 15, rue de l'école de Médecine 75006 PARIS.

Téléphone : (+33 /0)1 42 34 69 83

Télécopie : (+33 /0)1 53 10 92 01

Mél : enseignement@spim.jussieu.fr

Le SPIM inclut une équipe de recherche INSERM (UMRS 872, équipe 20) pour le développement de l'ingénierie des connaissances en santé.

Responsable : Pr. Marie-Christine JAULENT (DR2 INSERM)

Table des matières

1	Introduction.....	15
2	État de l'art.....	17
2.1	Évaluer le RSI des Tic avec des méthodes financières et comptables.....	17
2.1.1	L'analyse coût-bénéfice.....	17
2.1.2	La valeur actuelle nette.....	18
2.1.3	Les autres méthodes comptables	18
2.2	L'approche économétrique	19
3	Matériel et méthodes	35
3.1	Matériel	35
3.1.1	Matériel de la première étude - 2007.....	35
3.1.2	Matériel de la deuxième étude - 2010.....	37
3.2	Méthode	38
3.2.1	Démontrer l'influence des Tic sur la production hospitalière	38
3.2.2	Prédire la production à partir du meilleur ratio Tic vs non-Tic.....	43
4	Résultats.....	47
4.1	Démontrer l'influence des Tic sur la production hospitalière.....	47
4.2	Prédire la production à partir du meilleur ratio Tic vs non-Tic	53
5	Discussion et perspectives	61
6	Bibliographie	67
7	Annexes.....	77
7.1	Cobb-douglas	77
7.1.1	Introduction.....	77
7.1.2	Bases théoriques	77
7.1.3	Propriétés mathématiques	79
7.1.4	Points controversés.....	87
7.2	Article de synthèse paru dans Gestions Hospitalières	91
7.3	Informations complémentaires.....	98
8	Index.....	99

1 Introduction

Depuis le début des années 70, les technologies de l'information et de la communication (Tic) en santé ont acquis une importance stratégique et économique croissante, en particulier après la publication d'études mettant en évidence leur rôle possible dans l'amélioration de la qualité des soins et la réduction des erreurs médicales [Kohn 1999] mais aussi depuis la mise en œuvre de nouvelles lois comme le « *American Recovery and Reinvestment Act* » (ARRA) de 2009 qui incitent fortement au déploiement de dossiers médicaux électroniques aux USA. Au vingt et unième siècle, les systèmes d'information hospitaliers (SIH) sont devenus si intriqués dans le quotidien des soignants qu'il est presque devenu impossible de prendre une décision sans en tenir compte [Arlotto 2003]. Mais même si tous les acteurs s'accordent sur leur importance, ils représentent cependant des lignes budgétaires conséquentes qui n'ont pas encore prouvées indiscutablement leur rentabilité, ce qui provoque toujours de nombreux débats lorsqu'il s'agit de justifier les dépenses correspondantes. Sur cette base des taxonomies de méthodes d'évaluation ont vu le jour et de nombreuses études ont été publiées dans les revues économiques et managériales [Van der Loo 1995]. Malheureusement trop peu concernent le secteur médical et en particulier les bénéfices que l'on pourrait attendre des Tic. L'évaluation des bénéfices indirects (qualité et continuité des soins, satisfaction des utilisateurs, optimisation des processus de soins, etc.) du déploiement d'un SIH (aide à la prescription, aide au diagnostic, archivage d'images (PACS)) intéresse la grande majorité des études ; seulement 6,5% des évaluations sont des analyses coût-bénéfice [Brennan 2006] [Menachemi 2005]. Peu d'études visent à évaluer les bénéfices directs du déploiement des SIH, et presque aucune étude n'a envisagé ces bénéfices globalement dans un esprit de stratégie de type portfolio [Meyer 2008]. En outre, les résultats contradictoires de certains travaux amènent régulièrement les décideurs du milieu hospitalier à faire des choix basés seulement sur les prévisions des bénéfices indirects possibles/potentiels et peuvent laisser penser que la notion même de bénéfices associés aux Tic serait un oxymore.

Les difficultés à capturer l'impact des Tic dans les économies nationales ont d'abord été exprimées par le prix Nobel d'économie Robert Solow dans une interview du New York Times de 1987 : « *vous pouvez voir l'ère de l'ordinateur partout mais pas dans les statistiques de productivité.* » En conséquence, il est devenu essentiel d'évaluer précisément la valeur ajoutée des investissements Tic et en particulier dans le secteur de la santé.

Les relations entre Tic et les activités hospitalières sont en effet complexes et l'impact économique des nouveaux investissements Tic est difficile à saisir. Pour exécuter cette

analyse, les outils les plus communément disponibles sont des méthodes d'estimation du retour sur investissement. Ce retour sur investissement (ROI) peut être appliqué sur quasiment n'importe quelle sorte de projet d'investissement mais pour pouvoir saisir l'intégralité des paramètres putativement influencés par les investissements Tic il faut accumuler un nombre incroyablement croissant de variables conduisant inmanquablement à un semi-échec de l'évaluation.

Nous pensons qu'isoler et essayer de mesurer la valeur ajoutée par un projet simple, comme l'acquisition et le déploiement d'un PACS (*Picture Archiving and Communication System*) s'apparente à une tentative d'évaluation de la valeur ajoutée produite par le changement d'un type de fromage A vers un fromage B dans une pizza. Ou comme G. Anthes l'a fait remarquer – « *l'idée qu'il y a des projets IT doit être abandonnée. Il y a uniquement des projets ciblés pour l'amélioration des processus commerciaux, développant de nouveaux produits et services, délivrant un service client plus efficace ou améliorant d'autres aspects de performance commerciale* » [Anthes 2003].

Dans ce travail nous avons cherché à envisager de manière globale l'impact des investissements Tic pour capturer leurs effets sur la globalité de l'entreprise hôpital. Une fois cette capture effectuée nous avons cherché à obtenir la meilleure proportion des investissements Tic qu'une structure pourrait réaliser afin d'optimiser ses coûts de production.

2 État de l'art

Les systèmes d'information hospitaliers peuvent donner de nombreux bénéfices [Menachemi 2005] [Menachemi 2008] [Meyer 2007] [Ransom 2004] [Tan 2005]. Ces bénéfices sont de trois catégories: cliniques, organisationnels et financiers. Dans ces trois catégories, ils peuvent être tangibles (faciles à identifier) et intangibles (plus difficiles à mesurer). Tous ces bénéfices sont à prendre en considération lorsque l'objectif est de déterminer la plus-value d'un SIH.

Les bénéfices financiers tombent généralement dans une de ces catégories: réduction des coûts, amélioration de la productivité (qui se traduit en augmentation des revenus) et amélioration de la compétitivité (qui se traduit en génération de revenus). Pour les comptabiliser on utilise couramment le retour sur investissement (RSI ou ROI en anglais) qui est le rapport de la somme d'argent gagné ou perdu lors d'un investissement sur la somme de l'argent investi. La somme d'argent gagné ou perdu est communément dénommée *résultat net* ou *gain/perte* ou encore *profit/perte*. On se référera à l'argent investi avec les termes *capital* ou *actif*. Le RSI peut représenter le retour sur un investissement passé, en cours ou futur mais généralement il est calculé sur une base annuelle calendaire ou fiscale. Il s'exprime généralement en pourcentage afin de permettre une meilleure vision du gain proportionnel. Par exemple un investissement de 1000€ qui rapporte 50€ d'intérêts génère plus d'actifs qu'un investissement de 100€ qui rapporte 20€ ; toutefois l'investissement de 100€ possède un meilleur RSI ($50\text{€}/1000\text{€} = 5\%$ de RSI vs. $20\text{€}/100\text{€} = 20\%$ RSI). Lorsque le gain compense le capital investi on dit que l'on a atteint le seuil de rentabilité.

2.1 Évaluer le RSI des TIC avec des méthodes financières et comptables

Il existe de nombreux modèles financiers pour calculer le RSI ou essayer de l'estimer le plus correctement possible. Les méthodes les plus répandues sont l'analyse coût-bénéfices (ACB) et la valeur actuelle nette (VAN). Ce sont principalement des méthodes comptables qui peuvent être appliquées sur la plupart des projets d'investissement.

2.1.1 L'analyse coût-bénéfice

L'analyse coût-bénéfice correspond au quotient des bénéfices totaux apportés par un projet spécifique sur la somme des investissements mis en œuvre pour le réaliser. Un rapport supérieur à 1 indique un RSI positif. Mais aussi simple que ce calcul paraisse, les données nécessaires à sa réalisation sont loin d'être simples à réunir. Plusieurs études intéressantes ont montré l'intérêt de cette analyse en milieu hospitalier [Kaushal 2006] [Stroetmann 2006].

2.1.2 La valeur actuelle nette

La VAN représente la différence entre les cash-flows actualisés à la date zéro et le capital investi. On calcule donc pour chaque période future (pendant toute la période d'utilisation prévue de l'investissement) les recettes et les dépenses générées par l'investissement, puis on détermine les flux économiques de l'investissement. On actualise ensuite les flux nets annuels à la date d'investissement et on compare l'ensemble au montant initial de l'investissement. En d'autres termes c'est la somme des bénéfices nets durant la vie du projet ajustée au coût du capital [Arlotto 2003]. La VAN est donc un indicateur de la plus-value qu'apporte un investissement ou un projet à l'entreprise ce qui permet de déterminer si un investissement est rentable ou non. Le secret est d'être exhaustif dans l'identification des coûts. C'est une méthode bien appropriée aux projets sur le long terme [Anthes 2003]. Peu d'évaluations de projets Tic ayant utilisé cette méthode ont été publiées montrant une VAN positive [Kaplan 1996] [McLean 1998]. Toutefois l'une d'elles, publiée en 2000, a montré que la télé cardiologie, en plus d'améliorer la qualité des soins, était rentable dans le cadre de la néonatalogie sur la région de Washington DC [Rendina 2000].

2.1.3 Les autres méthodes comptables

Très proche de la VAN, le taux de rentabilité interne (TRI) correspond à la comparaison entre le montant des fonds investis et la valeur actuelle de l'entreprise rapportée à la durée de l'investissement. Le TRI est un taux de rentabilité propre à chaque projet d'investissement. Ce taux ne permet pas de déterminer, dans l'absolu, si un investissement est rentable ou non pour un investisseur. En revanche, c'est un outil d'arbitrage entre différents projets d'investissement; l'investisseur choisira celui pour lequel le TRI est le plus élevé [Anthes 2003] [Arlotto 2003] [Menachemi 2005].

Il existe aussi des méthodes qui prennent en compte la mesure du risque des investissements d'un projet. Citons l'analyse de rentabilité [Boles 1996] [Gapenski 1992] [Gapenski 2005] [Wang 2003], l'analyse de sensibilité [Gapenski 1992] [Meltzer 2001] [Saltelli 2007], l'analyse de scénario [Gapenski 2005], La simulation Monte Carlo [Gapenski 1992] [Palmer 2004], le coût moyen du capital pondéré [Holmes 2000], l'approche par option réaliste [McGrath 2004] [Williams 2007].

Par ailleurs de nombreuses sociétés de consulting ont développé leurs propres méthodes d'analyse de l'impact des projets Tic. Citons l'*economic value added* par Stern Stewart & Co [SSC 2010], le *business value index* par le Hackett Group [Hackett 2010], les *balanced scorecards* par Palladium [Palladium 2010], l'*information economics methodology* par le Beta

Group [Beta 2010], la *IT Performance Management Group Method* [ITPMG 2010], le *total economic impact* par Forrester Research [Forrester 2010], et la *total value of opportunity* par Gartner [Gartner 2010].

2.2 L'approche économétrique

De par leur nature intrinsèque (financière/économique) les méthodes précédentes ne prennent pas en compte les aspects les moins tangibles de l'impact des TIC. Par ailleurs l'acuité des modèles de calcul de RSI se dégrade en proportion de leur complexité. Plus la méthode est compliquée plus il est chronophage d'alimenter la méthode ; cela se faisant bien sûr au détriment du temps passé sur le projet global. Quatre études récentes ont montré l'intérêt de l'approche économétrique dans l'évaluation de l'impact des systèmes d'information hospitaliers [Beard 2007] [Menon 2000] [Meyer 2007] [Osei-Brison 2004]. La mise en applications des méthodes économétriques au niveau d'une entreprise comme un hôpital (microéconomie) est possible. Dans ce cadre, la mesure de l'efficacité du capital que l'on nomme RSI se fera grâce à l'utilisation des fonctions de coût ou de production.

Assessing the Capital Efficiency of Healthcare Information Technologies Investments: An Econometric Perspective

Rodolphe Meyer^{1,3}, Patrice Degoulet^{2,3}

¹University Hospitals of Geneva, Geneva, Switzerland

²Hôpital Européen Georges Pompidou and Université Paris Descartes, Paris, France

³INSERM - UMRS 872 eq 20, Paris, France

Summary

Objectives: To examine the different methods that can be used in the quantification of the added value of information technologies (IT) in the health care sector. This quantification represents a major issue for decision-makers and health care professionals when they have to plan an IT investment.

Methods: Articles were chosen via Medline, internet and the University of Geneva bibliographic portal. Some of the papers were obtained directly from their authors. We examine the most current methods used to evaluate IT return on investment (ROI) in the general business and in the health care sector, drawing attention on methods traditionally used in macroeconomic studies that could reveal themselves disruptive for IT ROI impact evaluation in hospitals.

Results: Financial and accounting methods can provide interesting data on a specific IT project but are usually incomplete for revealing the global IT investment influence. Econometric methods tend to demonstrate the positive impact of health care IT (HIT) on hospital production and productivity. Hospitals having higher levels of IT investment tend to deliver a higher level of clinical quality and show improved hospital cost performances.

Conclusions: Information technologies are so intermingled with people and processes that the identification of specific IT benefit remains questionable. Using macroeconomic tools could be the best way to analyze and compute IT ROI in health care. Econometric tools take into account all types investments (inputs) and all the returns (outputs) enabling the precise measurement of IT investments impact, breakeven points, and possible threshold levels, thus providing helpful intelligence to reach the higher levels of IT governance in hospitals.

Keywords

Econometrics, return on investment (ROI), health care information technologies, HIT, production function, Cobb-Douglas, productivity

Geissbuhler A, Kulikowski C, editors. *IMIA Yearbook of Medical Informatics 2008*. Methods Inf Med 2008; 47 Suppl 1: 114-27

Introduction

Since the early seventies, information technologies in hospitals have acquired an ever increasing strategic and economic importance, particularly after studies highlight their possible role in improving the quality of care or reducing medical errors [1]. In the 21st century, health information systems (HIS) have become so embedded in hospitals daily life that it has become almost impossible to make a decision without involving them [2]. But, even if everyone agrees on the importance of HIS, they remain these expenditure lines that did not brought full proof of their profitability, raising the recurrent problem of justifying the associated investments. The need to accurately quantify the added value of information technologies (IT) in the health care sector has therefore reached a critical requirement level.

On this basis taxonomies of evaluative methods have been proposed [3-6], and more and more studies have been published in the peer reviewed management and economic press, aiming to evaluate the economic impact of the ever growing IT importance in business. Unfortunately, few of them concern the health care sector and the financial benefits one could expect from IT in this field. "Use-user satisfaction" and "individual impact" rep-

resent the majority of the assessments and according to Grover et al. [4], only 6.5 % of evaluation studies are "cost-benefit" types of analysis [7,8].

Numerous studies emphasize the indirect earnings (e.g., quality and continuity of care, users' satisfaction, process optimization, etc.) of implementing different components of a clinical information system (e.g., computerized physician order entry (CPOE), clinical decision support (CDSS), picture archiving and communications systems (PACS)) [2,9-14]. However, few studies in comparison have attempted to measure the direct earnings deriving from the integration of these different HIS components into a global portfolio or strategic approach. Furthermore, the contradictory results of these global studies frequently drive hospital managers to make decisions only on expected indirect benefits and some analysts have even declared that the very notion of healthcare information technology (HIT) return on investment (ROI) could be an oxymoron [15].

In this paper we will focus on the financial ROI approaches that have been published aiming to quantify the payback that could be expected from HIT deployment in health care. We will examine the different approaches, methods, and tools available to deciders and health care professionals.

Benefits from Health Information Systems (HIS)

HIS can provide multiple benefits [2,9,10,16-18]. As shown in table 1, these benefits can fall into three categories: clinical, organizational and financial. Within these categories they can be tangible, meaning that their measurement is simple to compute, or less tangible meaning that, although obvious, they won't be easily quantified. All of these benefits are to be considered in a determine-the-value-of-the-HIS objective.

Financial benefits generally fall into one of the following categories: cost reduction, productivity improvement (which translates into cost reduction), revenue generation and competitive differentiation (which translates into revenue generation)

The return on investment (ROI), or sometimes rate of return (ROR), is the ratio of money gained or lost on an investment relative to the amount of money invested. The amount of money gained or lost may be referred to as interest, profit/loss, gain/loss, or net income/loss. The money invested may be referred to as the asset, capital, or the cost basis of the investment. ROI is also known as rate of profit. Return can also refer to the monetary amount of gain or loss. ROI is the return on a past or current investment, or the estimated return on a future investment. ROI does not indicate how long an investment is held. However, ROI is most often stated as an annual or annualized rate of return, and it is most often stated for a calendar or fiscal year. ROI is usually given as a percentage rather than an absolute value. This percentage can be used to compare returns on investments where the money gained or lost - or the money invested - is not easily compared using monetary val-

Table 1 Categories of Benefits in Health Care

	Clinical	Organizational	Financial
Tangible	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Iatrogenic behavior ➤ Mortality & Morbidity ➤ Information loss ➤ Drug deliverance 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Transcription costs ➤ Supply & Printing ➤ Length of stay ➤ Clinical paths 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Revenues ➤ Productivity ➤ Reimbursement rate ➤ ROI
Less Tangible	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Patient education ➤ Patient safety ➤ Standardization ➤ Clinical alignment 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Coordination of care ➤ Information availability ➤ User satisfaction ➤ Organizational alignment 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Legal issues ➤ Business relationship ➤ Community image ➤ Financial alignment

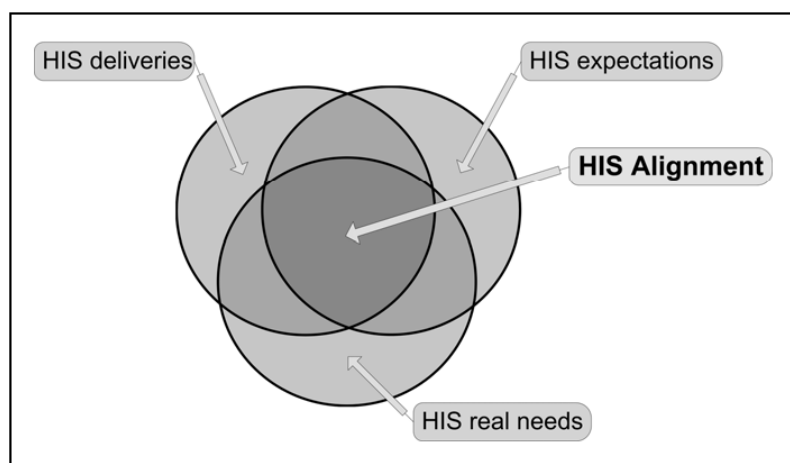


Fig. 1 HIS alignment

ues. For instance, a \$1,000 investment that earns \$50 in interest generates more cash than a \$100 investment that earns \$20 in interest, but the \$100 investment earns a higher return on investment ($\$50/\$1,000 = 5\%$ ROI vs. $\$20/\$100 = 20\%$ ROI)[19].

The duration in which the break-even point (when investment equals return) is expected is another factor. Duration can indicate how much of the ROI is expected from the initial project release (for example, initial development) and how much is expected from the project's ongoing day-to-day maintenance and enhancements over a number of releases.

Particularly important is the notion of alignment payback. Align-

ment payback is to be found in every aspect of the HIS and corresponds to a broader perspective of the hospital political and strategic value. Let's say that a good alignment could be represented by the level of evidence based medicine compliance of the clinical teams, by the implementation of international standards and right urbanization of the HIS and by the level of commitment in the community health politics or the economical aim the hospital. To sum up, alignment could be defined as the intersection of what people need, what they want and what they have (see figure 1). This is actually the ability of the system to deliver the results it was built for.

IT ROI Using Financial and Accounting Methods

Many financial models exist to identify the ROI or try to estimate it more accurately. The most common methods are cost benefits analysis, net present value and the internal rate of return. They are mainly accounting methods and can be applied to almost every investment project of any kind.

Cost Benefits Analysis (CBA)

Cost benefits analysis correspond to the division of the total benefits given by a specific project divided by the amount of money used to build it. A ratio of 1.0 means that the benefits equal the investments. A ratio of more than 1.0 indicates a positive ROI. As simple as it looks like, the data needed to perform such an analysis are far from simple to collect.

A recent and relevant study using CBA has been commissioned by the European Commission, Directorate General Information Society and Media, Brussels [11]. Ten European sites, with a wide range of different eHealth and healthcare settings (electronic health records (EHR), nation-wide medical record system, computerized physician order entry (CPOE) systems, clinical decision support system (CDSS), dispatch service for ambulance, supply chain management,...) were evaluated through a CBA that enables the impact on all stakeholders to be included in the evaluation. Cost-effectiveness (CEA) and cost minimization analyses (CMA) were not selected because they do not enable the evaluation of a range of outcomes. The authors estimated costs and timing of eHealth investment include recurring and non-recurring costs and benefits for each year including all beneficiaries (citizens, healthcare pros,

third party payers, and others) in a way that full impact of eHealth could be revealed. All costs and benefits identified were computed and assigned a monetary value. The results obtained lead to conclude that all the ten European sites proved to have obtained positive economic impact from the deployment and utilization of their HIS. For most of them, these results seem to be obtained even after the first year of utilization [11].

Another interesting study using CBA was made in 2006 in the United States of America. Brigham and Women's Hospital CPOE Working Group (BWH is a 720-adult bed, tertiary care, academic hospital in Boston) estimated costs and benefits of their hospital CPOE. Between 1993 and 2002, the BWH spent \$11.8 million to develop, implement, and operate CPOE. Over ten years, the system saved BWH \$28.5 million for cumulative net savings of \$16.7 million and net operating budget savings of \$9.5 million given the institutional 80% prospective reimbursement rate. The CPOE system elements that resulted in the greatest cumulative savings were renal dosing guidance, nursing time optimization, specific drug guidance, and adverse drug event prevention. The CPOE system at BWH has resulted in substantial savings, including operating budget savings, to the institution over ten years, but it took six years to reach the breakeven point [20].

The Net Present Value (NPV)

The NPV is the net result of a multiyear investment expressed in today's currency (€, \$, CHF, £, etc.). In other words, it is the sum of the net benefits (net cash flows) over the life of a project, adjusting for the cost of capital [2]. NPV is an indicator of how much value an investment or project adds to

the value of an enterprise. A positive NPV is necessary to acquire a specific technology because it suggests that incomes are greater than the present value of outcomes at a given interest rate (10). The key is to be exhaustive in identifying costs, benefits and their timing. NPV is especially appropriate for long-term projects. The main weakness is that ranking investments by NPV doesn't compare absolute levels of investment. NPV looks at cash flows, not at profits and losses the way accounting systems do. NPV is highly sensitive to the discount percentages that can be difficult to determine [21]. Few evaluations of HIT implementation using this technique have been published showing positive NPV [22,23]. A significant one, published by Rendina in 2000 showed that telecardiology, in addition to improving patient care was cost-effective in a neonatal deployment in the Washington DC area [24].

The Internal Rate of Return (IRR)

Closely related to the NPV, the IRR shows what return on investment can be expected as a percentage of the IT investment. It is the rate that makes NPV equals to zero for a series of future cash flows [2,10]. It's a cutoff rate of return: avoid an investment or project if its IRR is less than the cost of capital or the minimum desired rate of return. IRR provides a simple hurdle rate for investment decision-making. It's the method favored by many accountants and finance people even if not always easy to compute. For example computational anomalies can produce misleading results, particularly with regard to reinvestments [21].

Risk Measuring Methods

Investing in IT will always be associated with a certain level of risk. As-

sessing these risks might require computer-aided complex calculations [2,10] bringing a certain level of uncertainty based on their prospective nature.

Breakeven analyses try to estimate the break even period before positive cash flows equal the initial level of investments [25-27]. In other words: how long will it take to get the money back? The approach provides some indication of risk by separating long-term projects from short-term projects. On the other end, it doesn't measure profitability, doesn't account for the time value of money and ignores financial performance after the breakeven period [14].

Sensitivity analyses try to determine how the variation in the output of a model (numerical or otherwise) can be apportioned, qualitatively or quantitatively, to different sources of variation [28]. It can answer "what if..." questions on a variable by variable basis [10,26]. This analysis is more complex to implement than the precedent but can find out which variable in a model drives the results [29].

Scenario analyses examine possible future events by considering alternative possible outcomes (scenarios). The analysis is designed to allow improved decision-making by allowing more complete consideration of outcomes and their implications [27]. Despite the relative ease in understanding and running a scenario analysis, the lack of no more than three (best, worst, and most likely) scenarios is limiting [10].

Monte Carlo simulation is a very popular technique to determine probable outcomes when adopting a new technology [10,30]. In a Monte Carlo simulation, random number generators reflect the probability distributions for variables of uncertain values are applied and run with variables of relatively certain values [26]. As the number of runs increases the certainty of addressing all possible financial outcomes is possible.

The weighted average cost of capital (WACC) is calculated using the organization's current or anticipated capital structure as the weighting factor. It incorporates the time value of money into the analysis. The WACC is calculated by adding the products of each project component's proportion or percentage of capital and its corresponding after-tax cost. As stressed by Holmes, "although widely used in financial decision making, it does not ensure an organization will be adequately rewarded for assuming risk" [31].

Real option reasoning is often described as a process heuristic for understanding the economics of sequential resource investment choices [32]. Thus, real options reasoning accommodates the value of flexibility, differing resource allocation horizons, the process of retrospective sense making, and path dependence [33]. This is a decision-like method that can be combined with scenario analysis. It has recently been presented and alleged to be adapted to the health care business [34].

Data Mining and Regression Techniques

A performance group analysis has been developed by Dr Menachemi's team at the Center on Patient Safety, Florida State University College of Medicine [35]. In their 2006 empirical study they examined the relationship between information technology utilization and hospital financial performance by specifying and testing a series of regression models. IT data come from the survey of 198 acute care hospitals in Florida and the complete financial report of the Florida Agency for Healthcare Administration (AHCA) for 2003. The performance group analysis concerns a set of operational performance indicators. To formalize hospital IT capabilities, they

developed technology clusters by grouping individual IT applications. These applications were categorized as administrative, clinical, or strategic in nature. Each cluster was combined to form an index representing the count of actual IT applications in use for a given hospital under a given cluster [36]. Five indices (one for each of the clusters: administrative, clinical, strategic, patient safety and combined indices) were then computed with multiple linear regression analysis. Their findings suggest that IT adoption is consistently related to improved financial outcomes both overall and operationally. This relationship was present when examining clinical IT, administrative IT, and strategic IT as individual measures. Higher IT use was associated with a higher level of revenues, income, or cash flow, and was also associated with ratios based on higher expenses. Significant results were also obtained when considering IT collectively, the higher expenses certainly reflecting the relatively high acquisition costs associated with obtaining and maintaining sophisticated IT systems.

Data mining techniques have been used by a School of Information Technologies' team in Sydney Australia [37], assuming that data mining is a useful method of discovering meaningful new correlations, patterns and trends from large data warehouses. The data set comes from the Australian Bureau of Statistics (ABS) Business Longitudinal Survey (BLS) covering four consecutive years (1994 to 1998). The BLS was designed to provide information on the performance of Australian businesses and to identify various economic and structural characteristics of these businesses. It contains 3864 consistent records with a total of 787 variables having wide coverage of organizational characteristics and measures. They next

applied two association rule network (ARN) techniques on their organizational variables. The first results seem to show that it is possible to visualize the potential interweaving of IT links among organizational practices. Furthermore this approach could provide evidence of the synergistic factors that affect performance positively or negatively allowing defining coinvestments patterns policies [37].

Corporate Methods

Several consulting firms have developed their own IT ROI metrics, methodologies, guidelines and benchmarking. Examples include the Economic Value Added (EVA) by Stern Stewart & Co [38], the Business Value Index by The Hackett Group [39], the Balanced Scorecards by Palladium [40], the Information Economics methodology by The Beta Group [41], the IT Performance Management Group (ITPMG) method [42], the Total Economic Impact by Forrester Research [43], and the Total Value of Opportunity by Gartner Inc. [44].

Where Accounting and Economic ROI Methods Fail

By their very nature financial/economic tools do not reveal the less intangible impacts of IT investments such as the possible increased employee productivity or customer satisfaction [9]. They also have the hazardous tendency to underestimate some IT capital "real world" aspects. An example could be given by the frequent underestimation of the IT capital knowing that PC and mainframes are frequently used past their accounting depreciation life, impairing the results of the studies where the IT hardware value is aggregated.

ROI models might fail when they become overly complex. As says Stephen Andriole, an MIS professor at Villanova University in Villanova, PA., there are roughly 15 financial calculations that CIOs can use to tally ROI, "and that's part of the problem -- the more complicated the method, the more you have to feed the method rather than working the project". IT leaders "should adopt what the business adopts, and that's fine if that's how the organization wants to view the numbers", says Audrey Apfel, an analyst at Gartner Inc. in Stamford, Conn [44]. Unfortunately, this is not relevant in health care. "The problem with relying solely upon financial techniques such as NPV or IRR is that they don't necessarily capture all of the business benefits of an IT investment" respond Chip Gliedman, an analyst at Giga Information Group Inc. Giga recommends that CIOs use options models, decision trees and other tools [45].

Isolating and trying to measure the value added by a single project, like a PACS acquisition and deployment, is akin to assessing the contributed value of the cheese to the pizza. As Steve Ulfelder stressed in Computerworld columns "the idea that there are IT projects must be abandoned. There are only projects targeted at improving business processes, developing new products or services, delivering more efficient customer service or improving some other aspect of business performance" [46]. On a further level all the financial tools described before, when they are used to evaluate a future investment, tend to be systematically biased against innovation. Or as Christensen said in the January 2008 Harvard Business Review about their exclusive use "they divert resources away from investments whose payoff lies beyond the immediate horizon" [47].

An Econometric Approach to ROI Measurement

Econometrics is concerned with the tasks of developing and applying quantitative or statistical methods to the study and elucidation of economic principles. Econometrics combines economic theory with statistics to analyze and test economic relationships. Theoretical econometrics considers questions about the statistical properties of estimators and tests, while applied econometrics is concerned with the assessment of economic theories [48,49]. Macroeconomic theory examine economy-wide phenomena such as changes in unemployment, national income, rate of growth, gross domestic product, inflation and price levels. It is possible to narrow its mechanisms and make a focus reaching a firm or sector level. This focusing is provided by the microeconomic theory (or price theory) that is a branch of economics that studies how individuals, households, and firms make decisions to allocate limited resources, typically in markets where goods or services are being bought and sold. Microeconomics examines how these decisions and behaviors affect the supply and demand for goods and services, that determines prices, and how prices, in turn, determine the supply and demand of goods and services. Firms providing these goods and service are organized capitalistic structures possessing their own level of efficiency in their market.

In the previous chapters we saw that an approach commonly used to measure capital efficiency is given by the returns on investment. The economic approach of capital efficiency is generally represented by the informal ratio of production divided by capital expenditure [50]. The larger the ratio, the better capital efficiency is, thus leading to greater output [51-53]. In the

econometric field, sensitive data on this efficiency are provided by the utilization of production or cost function.

Production or Cost Functions

Since the 19th century, it has been common to link the growth and productivity of an enterprise to the elements, or production factors, used to generate products or services. The explanation of the economic growth by the combination of production factors led to the notion of production function, a mathematical relationship established between the production (output) and the factors put together to obtain it (inputs). A major step in this field was achieved by the American economist Paul Douglas and the mathematician Richard Cobb [54], who proposed a non-linear function linking yearn (Y), capital (K) and labor (L). The initial studies with this function undertaken in 1930 particularly concerned the industrial sector, and since then have spread to all economic sectors seeking efficiency. In 1956, Robert Solow [55] enhanced the function by introducing a new factor known as the Solow residual that is related to the technology level. The production function can then be expressed as:

$$Y = A \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta} \quad <1>$$

where Y will represent the output, A is the Solow residual, K the capital stock and L the quantity of labor brought back to its monetary value. Alpha and beta are called elasticity coefficients. They represent the share of each input explaining the output Y (let's say that $x\%$ raise of K will give an $\alpha\%$ raise of the incomes). The classical Cobb-Douglas will assume the constant elasticity of substitution of the inputs (i.e., $\alpha + \beta = 1$) an assumption that economists also call constant return to scale [55].

Using the mathematical properties of the function it is possible to add a third variable to the classical Cobb-Douglas function called T [56]. This variable represents the share of IT that is involved in the incomes produced, by withdrawing IT labor from Labor and IT capital from capital. Merging the IT Labor and IT capital we get the T variable and its elasticity coefficient γ .

$$Y = A \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta} \cdot T^{\gamma} \quad <2>$$

As in the classical Cobb-Douglas function it's possible to assume the constant elasticity of substitution of the inputs (i.e., $\alpha + \beta + \gamma = 1$). Knowing the value of the output (Y) and of the inputs (K , L and T), the value of the α , β and γ elasticity factors can be calculated to estimate the importance of each input in the explanation of the observed output [57].

Econometrics for IT ROI in the General Economy

In 1990 Alpar & Kim [58] found that methods using tools based on the production theory from economics could provide insights that were not obvious when more loosely controlled statistical analyses were performed [59]. The first study regarding IT impact on production, using these kinds of tools, or close ones, is found in 1992 [60] using hierarchic regressions. Since then other econometrics methods have been used including productivity factors correlations [61], Pearsonian or canonic correlation [62], regression analysis [63,64], production and Cobb-Douglas functions [56,65-71].

All the authors didn't reach the level of certainty that could have proved the positive impact of IT investments in the industry and business area. Even worse, some of them found that there was no

positive correlation overall between IT investments and production [65,72,73] or that computer investments are not significantly correlated with increases in return on assets [72,74]. These results led to what has been called the IT productivity paradox.

The IT productivity paradox is a situation where it's possible to see an immediate reduction of the tangible financial benefits of a firm just after the deployment of a complex Information System [75-78], leading to question the very notion of IT interest in productivity. Since the nineties, this IT productivity paradox engendered an increased scientific interest causing a significant amount of research pioneered at the Wharton School of the University of Pennsylvania and the Sloan School of Management at MIT by Lorin Hitt and Erik Brynjolfsson [79].

In 1996, Studying 370 corporations from 1988 to 1992, Hitt and Brynjolfsson found that, during this period, IT in these firms had increased productivity and created substantial value for consumers. However, they discovered that these benefits had not resulted in major business profitability. Finally they concluded that while modeling techniques need to be improved, the results were consistent with economic theory and that there is no inherent contradiction between IT investments and increased productivity, increased consumer value and unchanged business profitability. Hitt and Brynjolfsson won the award for "best paper for 1996" in MIS Quarterly a peer reviewed scholarly refereed journal in the information systems field.

They opened the way to many other studies that used econometrics techniques to show (in chronological order) that:

- IT labor was productive in the retail banking sector between 1993 and 1995 [80];
- IT capital is more important for the

services industry than for the manufacturing industries, and IT stock, capital and labor are not pairwise substitutable [81];

- IT capital in general business is linked to labor and capital in productivity gains [82,83];
- USA computer assisted firms from 1988 to 1993 have had higher productivity [68];
- A positive relationship exists between IT investments and labor productivity in the Canadian and US industry from 1971 to 1993 [70];
- IT had a noticeable positive impact in all industrial sectors of US economy between 1959 and 1998 [71], especially on productivity between 1991 and 1994 [84] leading to suspect a time threshold;
- Successful IT investments brought higher financial performances in 71 firms between 1988 and 1997 [85];
- IT investments improved technical efficiency, productivity and incomes in 370 business firms in the USA between 1988 and 1992 [86-90].

All this research required considerable effort and analysis from many authors. They all center their attention on industry and services in general, concluding that there may be a temporary productivity paradox when investing in IT but that all the firms who crossed the chasm proved to have made a right economic decision. None of these studies, however, focus especially on health care which could prove problematic regarding the specific nature of this sector of economic activity.

Health Care IT ROI with Econometric Analyses

Econometric models applied to hospitals must be adapted in order to integrate health care specificities. Economic studies in the medical information domain raised theoretical

and practical issues such as the definition and measurement of hospital production, efficiency or productivity [91-93]. Yet, it is essential in the health domain to be able to estimate the benefits of technology investments on hospital activities.

The first econometric approach of the health care sector was made in the business school of three US universities in 2000 (Texas Tech University, College of Business; the University of Illinois at Chicago, College of Business, and the University of Arizona, Karl Eller School of Management). Nirup Menon, Byungtae Lee and Leslie Eldenburg analyzed the impact of IT in a healthcare setting using a longitudinal sample of hospital data from 1976 to 1994 [94]. Data for the study were obtained from the Washington State Department of Health, the dataset (1130 observations) excluded any specialized hospitals such as psychiatric and substance abuse treatment centers. They classified production inputs into labor and capital categories. Capital was classified into three components - medical IT capital, medical capital, and IT capital - and labor was classified into two components, medical labor and IT labor. They used a state-of-the-art parametric technique, the stochastic frontier approach. Since this approach assumes all production processes are inherently inefficient, the model parameters capture inefficiencies of the production process at the firm level [95] (this approach models the production process for each hospital more realistically). Results obtained with that methodology provided evidence that IT contributes positively to the production of services (outputs) in the healthcare industry. IT labor and medical labor exhibited a positive influence on output as well as a positive impact on mean marginal revenue. However, they found that medical capital appeared to be

negatively associated with output during this time period. To quote these authors "...this finding may reflect hospitals' attempts to contain costs by substituting outpatient services for inpatient services, resulting in a decrease in length of stay for acute care wards (where medical capital is invested) and increasing outpatient visits for diagnostic tests and procedures (where medical IT capital is invested)..."[94]

In 2003, Myung Ko and Kweku-Muata Osei-Bryson explored the productivity impact of information technology (IT) in the healthcare industry using a regression spline (RS)-based approach on production function [90]. They used the same dataset as Menon and Lee [94]. Their analysis was based on a translog production function enabling the possibility of exploring the interactions between the predictor variables (non-IT Capital; non-IT Labor; and IT Stock). The use of multivariate adaptive regression splines (MARS) allowed them to understand the complex relationship between IT investments and productivity in the healthcare industry [96]. The rather complex results of this study suggest that each input variable has an interaction with other input variables. The results also suggest that under certain conditions, investments in IT stock have a positive impact on productivity, and that this impact of IT is not uniform but is conditioned both by the amount invested in the IT stock and the investments in non-IT capital. Thus, identifying an optimum level of the investment in each variable, may lead to higher productivity at the hospital level.

With such precedents, in 2006 we carried out an econometric analysis of 17 not-for-profit hospitals in Paris [16]. The study had multiple goals: - to show that a classic econometric production function is adaptable to French not-for-profit hospitals, - to compute

and analyze the share of each input variable in the explanation of the measured hospitals outputs and evaluated the production impact of IT investments, - and to compare the share of IT in the production results between two sets of hospitals split on an IT integration level basis.

The study concerns 17 of the 38 Paris university hospitals within Assistance Publique Hôpitaux de Paris (AP-HP). These hospitals were selected according to their size (more than 350 beds) and activity (acute and short-term care). Data used in this study range from 1998 to 2005. The 17 hospitals were split into two groups according to their IT integration level. Group 1 consisted of 11 hospitals having mainly administrative and ancillary department management systems (i.e., laboratory, radiology and pharmacy). Group 2 consisted of 6 hospitals that installed or had started to install an integrated HIS during the study period (first one in 1998, second one in 2000, the others throughout 2003). Using an aggregate Cobb-Douglas function [48,57] the links between hospital production and three different inputs (capital stock, quantity of labor, information technologies) were evaluated assuming the constant elasticity of substitution of the inputs [55]. The results showed that it is relevant to use econometric analysis tools in not-for-profit hospitals. In addition, with a share of labor in the hospitals superior to what is generally admitted in the industrial or service sector in France, the elements brought by the Cobb-Douglas production function stressed the importance of the human factor in explaining the hospitals' production results (Table 2).

The results seemed also to confirm the positive impact of IT on the studied hospital production during an eight-year period of follow-up. Comparing the two groups, the computation tends to reveal that the share of IT explaining the pro-

Table 2 Inputs factors coefficient values in different studies. Adapted from: Meyer R, Degoulet P and Omnes L. Impact of Health Care Information Technology on Hospital Productivity Growth: a Survey in 17 Acute University Hospitals. *Medinfo* 2007; 12(1):203-7.

Studies	α	β	γ	R^2
Hitt – 1996 [56]	0.2280	0.6860	0.0307	0.9510
Hitt – 1999 [97]	0.1300	0.7300	0.1100	0.9400
Lin – 2000 [98]	0.1240	0.7890	0.1600	0.9750
Shao – 2001 [89]	0.2121	0.7040	0.0619	n.a.
Bresnahan – 2002 [99]	0.1380	0.7530	0.0347	0.9080
Osei-Brisson – 2004 [90]	0.2120	0.6630	0.0883	0.9700
Meyer-Degoulet – 2007 [16]	0.1686	0.7657	0.0853	0.9701

α = share of capital, β = share of labor, γ = share of IT

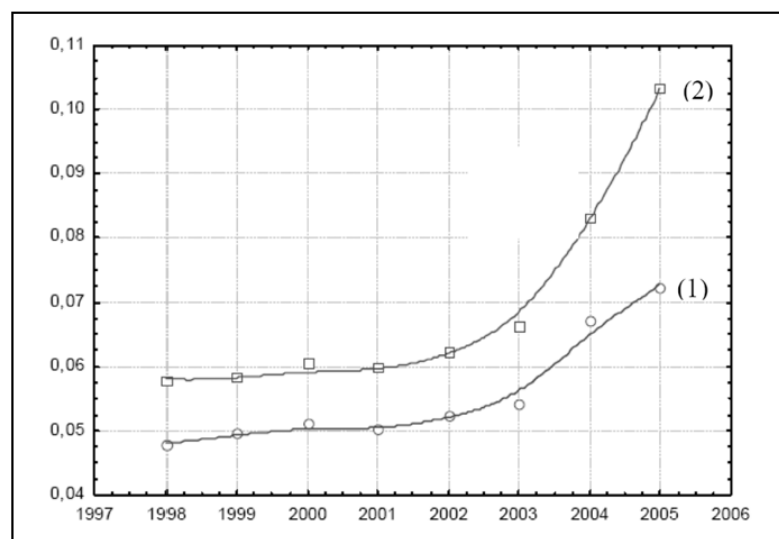


Fig. 2 Importance of IT share between high level HIS integration hospitals [2] and low level ones [1]. From: Meyer R, Degoulet P and Omnes L. Impact of Health Care Information Technology on Hospital Productivity Growth: a Survey in 17 Acute University Hospitals. *Medinfo* 2007; 12(1):203-7.

duction observed is about 1.7 times more important in structures having a higher level of CIS integration than in the low-level ones; this tendency increasing over time as shown in the figure 2.

In 2007, PricewaterhouseCoopers (PwC) and researchers at the Wharton School of the University of Pennsylvania released a major macroeconomic analysis of costs and quality of US hospitals aiming to investigate healthcare IT investment effects [100]. The two-fold objective was to confirm the rela-

tionships between IT investments and other measures of hospital performance by using advanced statistical and econometric techniques; and also, to establish whether such relationships support the assertion that investment in IT by US hospitals actually enhances organizational performance. They collected the data of almost all US hospitals (around 6000) over a period ranging from 1999 to 2004. After excluding psychiatric hospitals, government hospitals, hospices, rehabilitative and

chronic care facilities, very small hospitals (under 50 beds) and inconsistent dataset from their panel they ended up with almost 2000 structures. The resulting sample population was further divided into for profit and not for profit hospitals. To analyze the huge ensuing database they used standard econometric tools and powerful statistical techniques. This gave birth to a cost function, rather than a production function as used in the other studies. This economic model inter relates hospital capital infrastructure costs, operating expenses, outputs, material costs, labor costs, IT investment, and few other factors. Higher levels of IT investment correlate with improved hospital cost performance, although sometimes only modestly, and this amelioration increase over time. IT investments in acute care hospitals are associated with reduced operating expenses, but only after hospitals have reached a threshold level of investment. In other words, the initial stages of IT acquisition are, in fact, cost-additive until a "critical mass" is achieved, at which point the relationship becomes neutral for a period of time but ultimately turns positive. Another interesting result is that there is a natural lag time between technology implementation and benefits realization. Cost reductions occurred in the same year as the IT acquisition, but generally it took two years to break even.

This two year time lag can be visualized in figure 3 where each year's hospital performance statistics is related with IT Capital Index values from one and two years earlier. As a result it shows that the cost reductions associated with IT appeared at lower levels of IT investment, when this time lag is taken into account. No other effects of introducing the lag were observed. Not-for-profit hospitals appear to experience smaller cost-reduction effects when implementing HIS than for-profit hos-

pitals and reach their tipping point at higher levels of IT capital [100].

Hospitals having higher levels of IT investment tend to have a lower mortality rate (adjusted for risk and case mix) (figure 4). The effect is independent of costs per bed. The mortality rate may not represent the gold standard of quality level, but as N. Beard said "mortality is accepted as being a part of a stable of measures that together may form a reasonable guide to quality of care" [100]; so the finding that IT investment could correlate with a lower mortality rate is directionally encouraging [101].

Discussion and Conclusion

Although the literature includes encouraging findings, more research is needed to extend the understanding of the relationship between IT investment and financial outcomes on a macroeconomic level. Some points in the analysis remain to be developed. First of all, investigation should precise the duration of the lag period existing between the first investment and the breakeven point. Some studies relate a five years or more lag [20], others have measured a two years lag [100], while few report

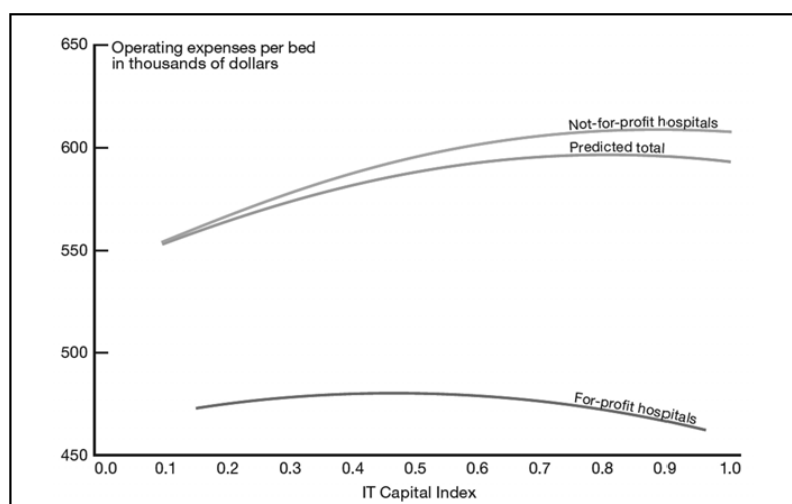


Fig. 3 Effect of Two-Year Lagged IT Capital Index on Operating Costs per Bed. From: Beard N, et al. Information technology and hospital performance: an econometric analysis of costs and quality. PricewaterhouseCoopers 2007 (<http://www.pwc.com/healthcare>).

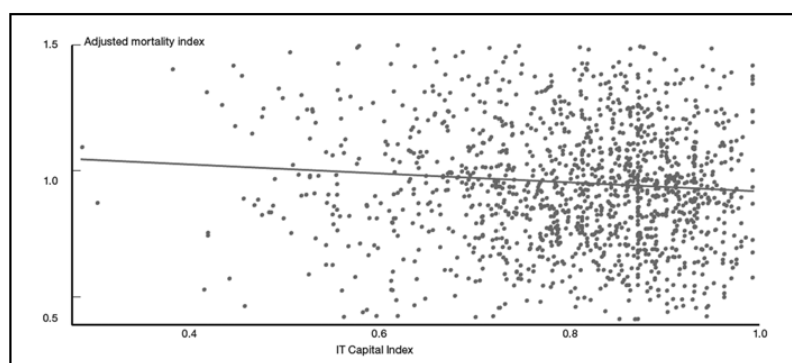


Fig. 4 Adjusted Mortality by IT Capital Index, 2004. From: Beard N, et al. Information technology and hospital performance: an econometric analysis of costs and quality. PricewaterhouseCoopers 2007 (<http://www.pwc.com/healthcare>).

a positive ROI the same year of the deployment [10]. In our experience, it takes about two to three years to start to deploy a reliable partial or complete HIS, and it takes additional time (one or two years) to reach a satisfying "cruise altitude" fulfilling its alignment objectives. Future econometric studies should incorporate this lag time in their computation.

In the various econometric works (in general economy and in health care sector) IT variables taken into account were constructed in a way that can raise questions. Most of the studies aggregated the IT labor with the IT capital. This is an interesting approach, but the granularity of the variables studied could be widened examining IT labor and capital separately or by splitting general labor into IT labor, medical labor and non medical labor, etc. The mathematical properties of the production function allow these extensions. Even the very notion of IT capital could be discussed. Indeed, in a hospital possessing a very high level of integration, the capital used to buy a new PET-Scan could be assigned to IT, considering the apparatus as merely a new networked image producing device, a situation that may be less relevant in a lower level IT structure. Studies incorporating this concept should be done. This more detailed specification of variables would be a first step towards better understanding the intricate relationships that can exist among them at the time of investment. Furthermore, benefits associated with HIT appear to be higher when accompanied by coherent clinical process redesign. This process redesign level could represent an interesting variable to examine comparing institutions that have and others that didn't make this effort [2,100,101].

The correct identification of hospitals will be also a point to develop. Studies can no longer aggregate for

profit and not for profit hospitals. And in these two groups it's important to determine categories of structure pursuing the same health care objectives. The best results of single institutions case studies cannot provide the sufficient level of confidence needed by investors to sign up in an ambitious HIT project. On this base the extension of the studies, actually mainly concerning the USA, should be done into other HIT involved countries on the same level.

In this review we have shown that there is no longer a scarcity of studies demonstrating the added value of IT in healthcare, despite recurrent assertions to the contrary. Much progress has been made in this field as reported in a large scientific peer reviewed literature. The majority of contributions point to positive results from various HIS implementations even though conceptual and methodological issues remain [2,21,35,47,100,102]. Information technologies are a composite mix of hardware, software, knowledge, integration level, operational support and infrastructures. Too many studies analyze the impact of single IT projects in a period where it has been shown that the real HIS ROI can more definitely be obtained with the implementation of highly integrated systems [16,100]. Doing so these hospitals are investing significant time and effort in complex measurement processes to attempt to track returns. Some are now beginning to question the value of the exercise. In many cases, information technology is so inextricably intertwined with people and processes that the identification of specific technology-related benefit streams is of marginal value [1]. Moreover, the financial tolls used by experts didn't prove to be perfectly accurate and many of the methodologies used possess inherent approximations and economic postulates that raise sometimes more questions than answers [2,5,7,

10,45-47,103]. Productivity is arguably the single most-important economic statistic. Its corollary the return on investment produces the golden numbers on which every future investment decision will be decided; thus the importance of finding the closest to reality results. Pursuing this objective this review paper suggests that new economic approaches derived from macroeconomic considerations and based on econometric tools could prove more reliable in assessing the real value of portfolio IT ROI and especially in the health care domain [16,90,94,100]. All these recent studies made in the health care business assessed the positive impact of HIS; an impact with a fast ROI and sustained over time.

The first statement about advocating the necessity of using macroeconomic tools is that when using traditional financial tools, experts always measure the do-nothing scenario, against which cash flows from the investments are to be compared, assuming that the present health of the hospital will persist indefinitely into the future if the investment is not made. This could constitute a sort of mistake that we call the entropy fallacy, because experts analyses always presume that the entropy of their system won't rise in their predictive financial data computing, which is wrong. And to go even further, a given hospital situation could be worse off than it is now after having made an IT investment but better off than he would have been without it [35]. Keeping that in mind when brainstorming about the relevance of doing an investment could save time/money, and cope with a recommendation saying that hospital executives should not justify expensive new IT investments solely on the assumption that these investments will deliver large returns. A more effective approach may be to justify moving along the curve to a position where

future IT investments pay for themselves and at the same time position the hospital for long term quality improvements [100].

A major conclusion could be that in advanced economies, IT is a promising source of productivity growth, but it makes little direct contribution to the overall performance of a company or the economy until it is combined with complementary investments in work practices, human capital, and organizational restructuring [104,105]. ROI evaluation of HIS impact in hospitals must climb a step up and match the total investments (inputs) with the total of returns (outputs) regardless of the source of each of them. Organizational contextual variables are important factors to consider in determining the impact of IT investment on organizational performance [106-110] but can remain very hard to be financially quantified, potentially impairing the results of desired deep analysis. Only a strategic alignment level analysis can be relevant in the HIS actual case as long as we have now identified that quantitative analyses based on production function are considered theoretically rigorous [111,112]. From the perspective of a general scheme of incentives and sustainability, it could be said that health care is moving from evidence-based medicine to economic-based medicine (using evidence of cost effectiveness) [113]. While econometric analysis may not become a "unified theory" for HIS, econometric tools do provide helpful intelligence for raising the level of IT governance in hospitals.

References

- Kohn LT, Corrigan JM, Donaldson MS, editors. *To Err Is Human: Building a Safer Health System*. Institute of Medicine. Washington DC: National Academy Press; 1999.
- Arlotto P, Oakes J. Return on investment: maximizing the value of healthcare information technology. Chicago: HIMMS; 2003.
- Delone WH, McLean ER. Information Systems Success: The Quest for Dependent Variable. *Information Systems Research* 1992;3(1):60-95.
- Grover V, Jeong SR, Segars AH. Information system effectiveness: the construct pace and patterns of application. *Information and Management* 1996;31(4):117-91.
- Van der Loo RP, Van Gennip EMSJ, Baker AR. Evaluation of automated information systems in health care: an approach to classifying evaluative studies. *Comput Methods Programs Biomed* 1995;48(1):45-52.
- Brennan A, Chick S, Davies R. A taxonomy of model structures for economic evaluation of health technologies. *Health Econ* 2006;15:1295-310.
- Pekka T, Hannu S. The Economic evaluation of Medical Information Systems. A research paper presented at the 18th Nordic Health Economists' Study Group Meeting, 22-23 August, 1997, p. 21.
- Gardner RM, Hulse RK, Larsen KG. Assessing the effectiveness of a computerized pharmacy system. *Symposium on Computer Applications in Medical Care*; 1990, Vol. 14, p. 668-72.
- Menachemi N, Saunders C, Chukmaitov A, Brooks R. Hospital quality of care: Does information technology matter? The relationship between information technology adoption and quality of care. *Health Care Manage Rev* 2008;33(1):51-9.
- Menachemi N, Brooks RG. Exploring the return on investment associated with health information technologies. Florida State University College of Medicine: Center for Patient Safety; 2005.
- Stroetmann KA, Jones T, Dobrev A, Stroetmann VN. eHealth is worth it: the economic benefits of implemented eHealth solutions at ten European sites. Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities; 2006.
- Barlow S, Johnson J, Steck J. The economic effect of implementing an EMR in an outpatient clinical setting. *J Healthc Inf Manag* 2004;18(1):46-51.
- Cooper J. Organization, Management, Implementation and Value of EHR Implementation in a Solo Pediatric Practice. *J Healthc Inf Manag* 2004;18(3):51-5.
- Wang SJ, Middleton B, Prosser LA, Bardon CG, Carchidi PJ, Kittler AF, et al. A cost-benefit analysis of electronic medical records in primary care. *Am J Med* 2003;114(5):397-403.
- Featherly K, Garets D, Davis M, Wise P, Becker P. Sharpening the Case for Returns on Investment from Clinical Information Systems. *Electronic Healthcare* 2006;5(3):101-10.
- Meyer R, Degoulet P, Omnes L. Impact of Health Care Information Technology on Hospital Productivity Growth: a Survey in 17 Acute University Hospitals. *Medinfo* 2007;12(1):203-7.
- Ransom SB, Joshi MS, Nash DB. *The Healthcare quality book: vision, strategy and tools*. Chicago: Health Administration Press; 2004.
- Tan J. *e-Healthcare Information Systems: An Introduction for Students and Professionals*. San Francisco: Jossey-Bass; 2005.
- [Online] March 2008. http://en.wikipedia.org/wiki/Return_on_investment.
- Kaushal R, Jha AK, Franz C, Glaser J, Shetty KD. Return on investment for a computerized physician order entry system. *J Am Med Inform Assoc* 2006 May-Jun;13(3):365-7.
- Anthes G. http://www.computerworld.com/special_report/000/000/100/special_report_000000180_primary_article.jsp. [Online]
- McLean RA. Cost-volume-profit and net present value analysis of health information systems. *Top Health Inf Manag* 1998;19(1):39-47.
- Kaplan JG. The net present value of investments in health. *Med Interface* 1996;9(11):94-6.
- Rendina MC. A net present value analysis of neonatal telecardiology. *Telemed Today* 2000;8(2):23-5.
- Boles K, Fleming S. Breakeven under capitation: pure and simple? *Health Care* 1996;21(1):38-47.
- Gapenski LC. Accuracy of investment risk models varies. *Healthc Financ Manag* 1992;46(4):40-4.
- Gapenski C. *Healthcare Finance: an introduction to accounting and financial management*. Chicago: Health Administration Press; 2005.
- Saltelli A, Ratto M, Andres T, Campolongo F. *Global Sensitivity Analysis. The Primer*. Hoboken: John Wiley & Sons; 2007.
- Meltzer MI. Introduction to health economics for physicians. *The Lancet* 2001;358:993-8.
- Palmer AJ, Annemans L, Roze S, Lamotte M, Lapuerta P, Chen R, et al. Cost-effectiveness of early irbesartan treatment versus control or late irbesartan treatment in patients with type 2 diabetes, hypertension, and renal disease. *Diabetes Care* 2004;27(8):1897-903.
- Holmes RL, Schroeder RE, Harrington LF. Objective Risk Adjustment Improves Calculated ROI For Capital Projects. *Healthcare Financial Management* 2000(12).
- McGrath R, Ferrier WJ, Mendelow AL. Real Options as Engines of Choice and Heterogeneity. *Academy of Management Review* 2004;29(1):86-101.
- McGrath R and Nerkar A. Real Options Reasoning and a New Look at the R&D Investment Strategies of Pharmaceutical Firms." 25: 1-21. *Strategic Management Journal* 2004;25:1-21.
- Williams DR, Walker JA, Hammes PH. Real options reasoning in healthcare: an integrative approach and synopsis. *J Healthc Manag* 2007;52(3):170-86.
- Menachemi N, Burkhardt J, Shewchuk R, Burke D, Brooks RG. Hospital Information Technology and Positive Financial Performance: A Different Approach to Finding a ROI. *J Healthc Manag* 2006;51(1).
- Burke D, Wang B, Wan T, Diana M. Exploring Hospitals' Adoption of Information Technology. *Journal of Medical Systems* 2002;26(4):349-55.
- Poon SK, Davis JG, Choi B. Augmenting productivity analysis with data mining: An application on IT business value. *Expert Systems with Applications*. doi:10.1016/j.eswa.2007.12.028, 2008.
- [Online] March 2008. <http://www.sscs.com/>.
- [Online] March 2008. <http://www.thehackettgroup.com/>.
- [Online] March 2008. <http://www.thepalladiumgroup.com/>.
- [Online] March 2008. <http://www.the-beta-group.com/>.
- [Online] March 2008. <http://www.itpmg.com/>.
- [Online] March 2008. <http://www.forrester.com/rb/>

- research.
44. [Online] March 2008. <http://www.gartner.com/>.
45. Hoffman T. [Online] March 2008. <http://www.computerworld.com/managementtopics/roi/story/0,10801,78541,00.html>.
46. Ulfelder S. [Online] March 2008. http://www.computerworld.com/special_report/000/000/100/special_report_000000180_primary_article.jsp.
47. Christensen CM, Kaufman SP, Shih WC. Innovation Killers: How Financial Tools Destroy Your Capacity to Do New Things. *Harvard Business Review* 2008;86(1):98-105.
48. Greene W. *Econometric Analysis*. Upper Saddle river, New Jersey: Pearson Education Inc.; 2003.
49. Gujarati D. *Basic Econometrics*. Columbus: McGraw-Hill Higher Education; 2003.
50. Brinkerhoff RO, Dressler DE. *Productivity measurement: a guide for managers and evaluators*. Newbury Park (Calif.): Sage; 1990. p. 16.
51. Baier SL, Dwyer GP, Tamura R. How Important Are Capital and Total Factor Productivity for Economic Growth? Federal Reserve Bank of Atlanta Working Paper No. -. 2005, Vol. 2002, 02.
52. Barro RJ. Notes on Growth Accounting. National Bureau of Economic Research. 1998, Vol. Working Paper No. W6654.
53. Romer PM. The Origins of Endogenous Growth. *Journal of Economic Perspectives* 1994(8):13-22.
54. Cobb CW, Douglas PH. A Theory of Production. *American Economic Review* 1928;18(1):139-65.
55. Solow RM. A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics* 1956;l LXX:65-94.
56. Hitt LM, Brynjolfsson E. Productivity, business profitability, and consumer surplus: three different measures of information technology value. *MIS Quarterly* 1996;20(2):121-42.
57. Stadelmann D. Fonction de production - illustration des propriétés pour l'analyse économique. Fribourg: Séminaire de l'université de Fribourg, 2003-2004.
58. Alpar P, Kim M. A Comparison of Approaches to the Measurement of IT Value. In: *Proceedings of the Twenty-Second Hawaii International Conference on System Science*; 1990.
59. Brynjolfsson E, Hitt LM. Paradox lost: Firm level evidence on returns to information systems spending. *Management Science*. 1996;42:541-58.
60. Weill P. The relationship between investment in information technology and firm performance : a study of the valve manufacturing sector. *Information Systems Research* 1992;3(4):307-33.
61. Siegel D, Griliches Z. Purchased services, outsourcing, computers, and productivity in manufacturing. In: Z. Griliches, Editor, *Output measurement in the service sector*. Chicago: University of Chicago Press; 1992. p. 429-58.
62. Mahmood M, Mann GJ. Measuring the organizational impact of information technology investment: an exploratory study. *Journal of Management Information Systems* 1993;10(1):97-122.
63. Siegel D. The impact of computers on manufacturing productivity growth: A multiple-indicators, multiple-causes approach. *The Review of Economics and Statistics* 1997;79:68-78.
64. Lichtenberg F. The output contributions of computer equipment and personnel: a firm-level analysis. *Journal of Economic Innovation and New Technologies* 1995;3(4):201-17.
65. Loveman GW. An assessment of the productivity impact of information technologies. In: Allen TJ, Scott Morton MS, editors. *Information Technology and the Corporation of the 1990s: Research Studies*. Oxford: Oxford University Press; 1994. p. 84-110.
66. Greenan N, Mairesse J. Computers and productivity in France: Some evidence. NBER Working Paper No. 5836. 1996, Vol. November.
67. Lehr W, Lichtenberg FR. Computer use and productivity growth in US federal government agencies, 1987-92. *Journal of Industrial Economics* 1998;46:257-79.
68. McGuckin RH, Streitwieser ML, Doms M. The effect of technology use on productivity growth. *Economics of Innovation and New Technology*. 1998;7:1-27.
69. McGuckin RH, Stiroh KJ. Computers and productivity: Are aggregation effects Important? *Economic Inquiry* 2002;40(1):42-59.
70. Gera S, Gu W, Lee F. Information technology and labour productivity growth: An empirical analysis for Canada and the United States. *Canadian Journal of Economics* 1999;32:384-407.
71. Jorgenson DW, Stiroh KJ. Raising the speed limit: US economic growth in the information age. *Brookings Papers on Economics Activity* 2000, Vol. 1. p. 125-211.
72. Barua, A, Kriebel, C and Mukhopadhyay, T. Information Technology and Business Value: An Analytic and Empirical Investigation. University of Texas at Austin Working Paper. May, 1991.
73. Berndt ER, Morrison CJ. High-Tech Capital Formation and Economic Performance in U.S. Manufacturing Industries: An Exploratory Analysis. *Journal of Econometrics* 1995;65(1):9-43.
74. Morrison CJ, Berndt ER. Assessing the Productivity of Information Technology Equipment in the U.S. Manufacturing Industries. National Bureau of Economic Research Working Paper; 1990, Vol. 3582.
75. Pilat D. The ICT productivity paradox: insights from micro data. *OECD Economic Studies*. 2004, Vol. 38, pp. 37-65.
76. Attewell P. *Organizational Linkages: Understanding the Productivity Paradox*. Washington: National Academic Press; 1994. p. 13-53.
77. Marakas GM, Robey D. managing impressions with information technologies. *Proceedings of the 1994 computer personnel research conference on Reinventing IS: managing information technology in changing organizations*; 1994. p. 15-22.
78. Ross A, Ernstberger K. Benchmarking the IT productivity paradox: recent evidence from the manufacturing sector. *Mathematical and Computer Modelling*; 2006, Vol. 44. p. 30-42.
79. Brynjolfsson, E. The productivity paradox of IT. *Communication of the ACM* December 1993;36(12).
80. Prasad B, Harker P. Examining the contribution of information technology toward productivity and profitability in US retail banking. Working paper no. 97-09, Financial Institutions Center, The Wharton School; 1997.
81. Lin WT, Shao BM. The business value of information technology and inputs substitution: the productivity paradox revisited. *Decision support systems*. 2006, Vol. 42. p. 493-507.
82. Dewan S, Min CK. The substitution of information technology for other factors of production : a firm level analysis. *Management Science*. 1997, Vol. 43(12):1660-75.
83. Lee B, Menon N. Information technology value through different normative lenses. *Journal of Management Information Systems* 2000;16(4):99-119.
84. Bharadwaj A. A resource-based perspective on information technology capability and firm performance : an empirical investigation. *MIS Quarterly*. 2000;24(1):169-96.
85. Stratopoulos T, Dehning B. Does successful investment in information technology solves the productivity paradox ? *Information and Management* 2000;38:103-17.
86. Shao BM. Investigating the value of information technology in productive efficiency: an analytic and empirical study. [Ph.D. dissertation]. State University of New York, Buffalo; 2000.
87. Shao BM, Lin WT. Technical efficiency analysis of information technology investments: a two-stage empirical investigation. *Information and Management* 2002;39:391-401.
88. Shao BM, Lin WT. Examining the determinants of productive efficiency with IT as a production factor. *Journal of Computer Information Systems* 2000;41(1):25-30.
89. Shao BM, Lin WT. Measuring the value of information technology in technical efficiency with stochastic production frontiers. *Information and Software Technology* 2001;43:447-56.
90. Osei-Brisson KM, Ko M. Exploring the relationship between information technology investments and firm performance using regression splines analysis. *Information & Management* 2004;42:1-13.
91. Koc C. The productivity of health care and health production functions. *Health Econ* 2004;13(8):739-47.
92. Hollingsworth B, Dawson PJ, Maniadakis N. Efficiency measurement of health care: a review of non-parametric methods and applications. *Health Care Manag Sci* 1999;2(3):161-72.
93. Grosskopf S, Valdmanis V. Measuring Hospital performance: a non-parametric approach. *Journal of Health Economics* 1987;6:87-109.
94. Menon N, Lee B, Eldenburg L. Productivity of Information Systems in the Healthcare Industry. *Information Systems Research* 2000;11(1):83-92.
95. Lovell CAK. *Production frontiers and production efficiency in The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications*. New-York: Oxford University Press; 1993.
96. Eubank R. *Spline Smoothing and Nonparametric Regression*, Marcel. New York: Marcel Dekker Inc; 1987.
97. Hitt, LM and Snir, EM. The role of information technology in modern production: complement or substitute to other inputs? University of pennsylvania papers; January 1999.
98. Lin WT, Shao BM. Relative sizes of information technology investments and productive efficiency: Their linkage and empirical evidence. *Journal of the Association for Information Systems* 2000;1(7):1-35.
99. Bresnahan TF, Brynjolfsson E, Hitt LM. Information technology, Workplace Organization, and the demand for skilled labor: Firm-level evidence. *The Quarterly Journal of Economics* 2002;117(1):339-76.
100. Beard N, Elo K, Hitt LM, Housman MG,

- Mansfield G. Information technology and hospital performance: An econometric analysis of costs and quality. [Online] PricewaterhouseCoopers: <http://www.pwc.com/healthcare>; 2007.
101. Holland M. Perspective on the value of HIT investment. Health Industry Insights. [Online] <http://www.healthindustry-insights.com/HII/getdoc.jsp?containerId=HI206330>.
 102. Schulman J, Kuperman GJ, Kharbanda A, Kaushal R. Discovering How to Think about a Hospital Patient Information System by Struggling to Evaluate It: A Committee's Journal. *J Am Med Inform Assoc* 2006;14:537-41.
 103. Philips Z, Ginnelly L, Sculpher M, Claxton K, Golder S, Riemsma R, et al. Review of guidelines for good practice in decision-analytic modelling in health technology assessment. *Health Technology Assessment* 2004;8(36).
 104. Brynjolfsson, E. The IT Productivity GAP. *Optimize* 2003;21.
 105. Bleom J, VanDoorn M, Mittal P. Making IT governance work in a Sarbanes-Oxley world. *Oboken*: Willey & Sons Inc; 2006. p. 46-90, 153-7.
 106. Hoogeveen D, Oppelland HJ. A socio political model of the relationship between IT investments and business performance. *Proceedings of the 35th Hawaii International Conference on Systems Sciences*; 2002.
 107. Li R, Ye LR. Information technology and firm performance: linking with environmental, strategic and managerial contexts. *Information and Management* 1999;35:43-51.
 108. Teo TSH, Wong PK, Chia EH. Information Technology (IT) investment and the role of a firm: an exploratory study. *International Journal of Information Management* 2000;20:269-86.
 109. Soh C, Markus ML. How IT creates business value: a process theory synthesis. *Proceedings of the 16th International Conference on Information Systems*, Amsterdam; 1995. p. 29-41.
 110. Soh C, Markus ML. Banking on information technology: converting IT spending into firm performance. [book auth.] R Banker, R Kaufmann and M Mahmood. *Strategic Information Technology Management: Perspectives on Organizational Growth and Competitive Advantage*. Hershey: Idea Group Inc. Publishing; 1993. p. 375-404.
 111. Kumbhakar SC, Tsionas EG. Estimation of stochastic frontier production functions with input-oriented technical efficiency. *Journal of Econometrics* 2006;133:71-96.
 112. Banua A, Mukhopadhyay T. Information technologies and business performance: past, present, and future. [book auth.] Zmud R. *Framing the Domains of IT Management Projecting the Future through the Past*. Cincinnati: Pinnaflex Education Resources, Inc; 2000.
 113. Maynard A, Kanavos P. Health economics: an evolving paradigm. *Health Econ* 2000;9:183-90.
 114. Kivijarvi H, Saarinen T. Investment in information systems and the financial performance of the firm. *Information and Management* 1995;28:143-63.
 115. Stiroh K. *Reassessing the Impact of IT in the Production Function*. New York: Federal Reserve Bank of New York; 2002.

Correspondence to:

Dr Rodolphe Meyer, MD, MPh
University Hospitals of Geneva, Service of Medical Informatics
24, rue Micheli-Du-Crest
CH-1211 Geneva 14
E-mail: rodolphe.meyer@sim.hcuge.ch

Pr Patrice Degoulet, MD, PhD
Département d'Informatique Hospitalière - HEGP
20, rue Leblanc
75015 Paris - France
E-mail: patrice.degoulet@egp.aphp.fr

Annex: Econometric studies on IT (Health care sector studies in darker gray)

Year	Authors	Methodology	Data	Measures	Results
1992	P Wall [60]	Hierarchical Regression Analysis	33 firms from 1982 to 1987	IT investments and financial data (sales, productivity, ROA)	No evidence of IT positive impact on strategy
1992	D Siegel and Z Griliches [61]	Correlation research between IT investment and productivity factors	USA & Canada industries macroeconomic data in 1992	Capital IT, labor	Positive link between IT investments and labor productivity
1993	M Mahmood and GJ Mann [62]	Pearsonian correlation and canonical correlation	100 firms listed in the <i>Computerworld</i> magazine in 1989	IT investments and economical measures	Low level IT impact
1994	GW Loveman [65]	Production function and regression analysis	60 firms from 1978 to 1984	IT expenses, IT capital and IT labor	No proofs of increased earnings with IT
1995	H Kivijarvi and T Saarinen [114]	Variance analysis	36 firms from Finland	IT Investments, financial performances, user satisfaction	No obvious direct relation of years with IT
1995	F Lichtenberg [64]	Regression analysis	Firms listed in the <i>Computer world</i> and <i>Information Week</i> magazines from 1988 to 1991	IT investments, IT capital, global capital IT labor and global labor	Direct influence of It capital and IT labor on incomes
1996	N Greenan and J Mairesse [66]	Cobb-Douglas	Economical data from industry and service in 1987, 1991 et 1993	Productivity, capital, salaries	Higher IT impact in services than in industry
1996	LM Hitt and E Brynjolfsson [56]	Cobb-Douglas	370 US firms from 1988 to 1992	Productivity, profits, value	Higher productivity linked to IT
1997	D Siegel [63]	Regression analysis	USA industry from 1974 to 1994	Productivity, capital, salaries	Positive statistical impact of IT investments
1997	B Prasad and P Harker [80]	Cobb-Douglas	115 banks from 1993 to 1995	IT capital, non IT capital, IT labor, non IT labor	Higher productivity linked to IT labor
1997	S Dewan and CK Min [82]	Constant elasticity of substitution, production function, translog function	370 US firms from 1988 to 1992	Capital IT, global capital, labor, productivity	IT capital is linked to global capital and labor in productivity results
1998	W Lehr and FR Lichtenberg [67]	Cobb-Douglas	Government agencies in the USA from 1987 to 1992	IT capital et labor	High IT ROI with measures done
1998	RH McGuckin, ML Strat-wieser and M Doms [68]	Cobb-Douglas	USA industry from 1988 to 1993	Capital, labor, technological level	Higher productivity of firms using computer
1999	RH McGuckin and KJ Sirrah [69]	Cobb-Douglas	US firms data from the BEA (Bureau of Economic Analysis)	IT capital, global capital, labor, productivity	Global productivity profits
1999	S Gera, W Gu and F Lee [70]	Cobb-Douglas	Industry in Canada & USA from 1971 to 1993	IT capital, global capital, labor, productivity	Positive relationship between IT investments and labor productivity
2000	DW Jorgenson and KJ Sirrah [71]	Cobb-Douglas and translog function	All industries in the USA from 1959 to 1998	IT capital, global capital, labor, incomes	Noticeable positive impact of IT on productivity after 1990
2000	A Bharadwaj [84]	Logistic regression and Wilcoxon rank sum test	56 firms listed in <i>Information Week</i> magazine from 1991 to 1994	Costs and profits measures	Positive relationship between IT investments and productivity
2000	B Lee and N Menon [83]	Variance and cluster analysis	1064 firms from 1976 to 1994	IT capital, non IT capital, IT labor, non IT labor	Positive relationship between IT investments and productivity but negative relationship between IT labor and productivity
2000	T Stratopoulos and B Dehning [85]	Wilcoxon test	71 firms from 1988 to 1997	Financial performances	Successful IT investments give higher financial results
2000	N Menon, B Lee and L Eldenburg [94]	Stochastic frontier	US hospitals data from 1976 to 1994	medical IT capital, medical capital, IT capital, medical labor and IT labor	Positive impact of IT in outputs
2000 - 2002	B Shao and W Lin [88][89] [87]	Cobb-Douglas and translog function	370 US firms from 1988 to 1992	Capital, labor, IT investments	Positive impact of IT investments on technical efficiency and productivity
2002	Sirrah K [115]	Meta Analysis	US firms data from the BEA (Bureau of Economic Analysis)	IT elasticity	Positive impact of IT
2004	KM Osei-Bryson and M Ko [90]	MARS	US hospitals data from 1976 to 1994	Capital, labor, IT investments	Positive impact of IT investments
2006	R Meyer and P Degoulet [16]	Extended Cobb-Douglas production function	17 not for profit hospitals	Capital, Labor, IT capital and IT labor	Positive impact of IT, increased impact over time, higher impact in integrated HIS
2007	PwC [100]	Global econometric analysis	2000 US hospitals	Capital, Labor, IT capital	Positive impact of IT, increased impact over time, IT improves quality

3 Matériel et méthodes

3.1 Matériel

Les données hospitalières utilisées pour ce travail proviennent du siège de l'AP-HP (Assistance publique – hôpitaux de Paris, 3 avenue Victoria, 75004 Paris). Elles sont principalement issues des bases de production de la direction des finances, de la direction des ressources humaines et du programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI). Certaines données plus spécifiques ont été directement recueillies dans les hôpitaux. Elles s'étendent sur une période de huit années allant de 1998 à 2005.

Les centres hospitaliers inclus dans l'étude ont été sélectionnés suivant leur type et leur volume d'activité. N'ont été retenus que les structures de volume important (plus de 350 lits), réalisant principalement (>75%) une activité MCO (médecine, chirurgie, obstétrique). Par ailleurs, les structures qui ont fermé ou dont l'activité a significativement changé durant la période concernée ont été exclues sauf pour les hôpitaux Broussais, Boucicaut et Laennec qui ont été fusionnés pour former, en juillet 2000, l'hôpital européen Georges Pompidou ou HEGP¹.

Nous avons donc retenu dix-sept établissements sur huit années dans la première étude [Meyer 2007] et vingt et un établissements sur neuf années dans la deuxième [Meyer 2010], ce qui nous donne un total de cent trente-six observations complètes pour l'une et cent quatre-vingt-neuf pour l'autre.

3.1.1 Matériel de la première étude - 2007

Le tableau 1, présente la liste des établissements inclus dans l'étude de 2007 ainsi que quelques éléments permettant de juger de leur niveau d'activité. Les recettes d'exploitation, les dépenses en personnels et l'activité PMSI, sont également rapportées au nombre de lits afin de lisser les effets de volume et amener les hôpitaux à des niveaux permettant de mieux les comparer entre eux. Le nombre de lits pris en compte n'est pas le nombre de lits total de l'hôpital mais le nombre de lits exploitables calculé en fonction d'indisponibilités liées à l'organisation des services, à des restructurations saisonnières, à des fermetures administratives ou techniques. Le taux d'occupation prend en compte les journées indisponibles pour travaux, désinfection et hôpital de semaine.

¹Dans cette étude la mention HEGP représente la notion de «groupe HEGP» composée des hôpitaux Broussais, Boucicaut et Laennec jusqu'en 1999, puis de l'HEGP et Broussais à partir de 2000.

Ces éléments sont rétrospectifs.

Tableau 1 - Liste des Hôpitaux de l'étude 2007

Établissements (n=17)	MCO^(*) (%)	lits^(†) (n)	TO^(‡) (%)	DMS^(§) (jours)	Y^() (M€)	L^(**) (M€)	Y/l^(††) (K€/lit)	L/l^(‡‡) (K€/lit)
Ambroise Paré (014 – Ouest)	100	429	82,5	6,1	129,6	76,8	302,2	179,1
Antoine Béchère (028 – Sud)	100	396	86,3	6,4	140,6	77,8	355	196,5
Avicenne (095 – Nord)	99,6	447	92,9	8,6	152,2	91,9	340,5	205,8
Beaujon (005 – Nord)	98,8	526	91,4	8,2	152,3	97	289,5	184,4
Bicêtre (010 – Sud)	82,9	917	89,7	6,5	269,9	150,7	294,34	164,3
Bichat (011 – Nord)	96,4	820	87,5	7,7	281,7	167,6	343,5	204,5
Cochin (021 – Ouest)	95,4	918	80,9	5,5	380,6	230,1	414,6	250,7
HEGP (075 – Ouest)	95,4	748	86,5	7,6	232,9	166,4	311,4	222,5
H. Mondor (026 – Sud)	78,5	840	91,0	8,5	246,5	158,2	293,5	188,4
Hôtel Dieu (041 – Ouest)	98,6	454	82,9	5,8	144,3	85,9	317,8	189,3
Lariboisière (047 – Nord)	93,4	980	85,0	6,7	214,7	159,7	219,1	162,9
Necker (061 – Ouest)	94,1	558	79,4	5,8	273,4	162,6	490	291,4
Pitié-Salpêtrière (066 – Est)	91,3	1747	87,2	6,7	530,9	335,6	303,9	192,1
Robert Debré (070 – Nord)	86,3	392	88,4	5,2	132,1	96,4	337,1	246
Saint Antoine (073 – Est)	94	726	92,6	7,1	254,8	148,5	351	204,6
Saint Louis (076 – Nord)	100	524	87,8	6,3	267,9	134	511,3	255,7
Tenon (087 – Est)	100	615	87,8	6,9	232,2	151,8	377,6	198,3

(*) MCO = Part d'activité MCO (basée sur les admissions) (†) Lits = nombre de lits exploitables (source compta. ana. 2006)

(‡) TO = Taux d'occupation (§) DMS = Durée moyenne de séjour (||) Y = Recettes d'exploitation

(**) L = Coût du personnel (††) Y/l = Recettes d'exploitation/lit (‡‡) L/l = Coût du personnel/lit

Les dix-sept hôpitaux de l'étude ont d'abord été étudiés de façon globale puis séparés en deux groupes distincts correspondant à leur niveau d'intégration informatique.

Tous les hôpitaux possédaient en 2007 des parcs informatiques hétérogènes mais importants. Seuls quelques-uns avaient implémenté des systèmes d'information hospitaliers (SIH) intégrés permettant une gestion électronique horizontale des informations des patients ; ils seront répartis dans le groupe 2. Il s'agit des hôpitaux participant au projet Actipidos - PAS (Prescription et Activité de Soins) de la société ARES qui prend en charge les prescriptions, le plan de soins, le dossier de soins infirmiers et les transmissions. Mais aussi des hôpitaux ayant mis en place un système d'information intégré complet (HEGP et R. Debré) implémentant tout ou partie du dossier patient électronique.

Les hôpitaux sans système intégré seront répartis dans le groupe 1. Gardons en mémoire que ces structures possèdent souvent des systèmes d'information mais qu'ils sont hétérogènes (d'organisation verticale non intégrée).

Tableau 2 - Répartition des groupes d'hôpitaux

Groupe 1 (n=11)		Groupe 2 (n=6)
Beaujon (005 – Nord)	Necker (061 – Ouest)	Bichat (011 – Nord)
Bicêtre (010 – Sud)	Pitié-Salpêtrière (066 – Est)	Cochin (021 – Ouest)
A. Paré (014 – Ouest)	Saint Antoine (073 – Est)	Henri Mondor (026 – Sud)
A. Bécclère (028 – Sud)	Tenon (087 – Est)	Robert Debré (070 – Nord)
Hôtel Dieu (041 – Ouest)	Avicenne (095 – Nord)	HEGP (075 – Ouest)
Lariboisière (047 – Nord)		Saint Louis (076 – Nord)

Le tableau 3, présente le détail des solutions déployées dans le groupe 2.

Tableau 3 - Détail du groupe 2

Établissement	Solution	Mise en Production	Niveau 2005 ^(*)
Bichat (011 – Nord)	ACTIPIDOS - PAS	Septembre 2003	10%
Cochin (021 – Ouest)	ACTIPIDOS - PAS	Septembre 2003	10%
Henri Mondor (026 – Sud)	ACTIPIDOS - PAS	Juin 2003	55%
Saint Louis (076 – Nord)	ACTIPIDOS - PAS	Novembre 2003	24%
Robert Debré (070 – Nord)	IBM - PCS	1998	100%
HEGP (075 - Ouest)	THALES - MEDASYS	2001	100%

(*) pourcentage de déploiement de la solution (données obtenues du chef de projet ACTIPIDOS - PAS)

3.1.2 Matériel de la deuxième étude - 2010

Le tableau 4, présente la liste des établissements inclus dans l'étude de 2010 avec leurs données respectives sur 2006 à titre d'exemple. Il y a vingt et un établissements dans cette étude, soit quatre de plus que précédemment (les nouveaux centres sont situés en bas de tableau). Nous avons fusionné le capital et le travail non-Tic (K+L) et fusionné le travail et le capital Tic (K+L Tic) car l'objectif n'est plus de démontrer l'influence de Tic sur la production hospitalière mais de calculer la meilleure proportion de Tic versus non-Tic qu'il faudrait atteindre. Les parcs informatiques de ces structures ont évolué depuis 2007 mais ils restent hétérogènes. Un projet de déploiement d'une informatisation globale, uniforme et intégrée est en cours au niveau de l'AP-HP.

Tableau 4 - données de l'étude 2010 (exemple sur 2006)

CHU	A	Y	K+L	K+L Tic
Ambroise Pare	2006	95'966'865.58	124'344'263.30	4'124'862.81
Antoine Béchère	2006	103'899'051.68	125'998'597.23	3'470'448.55
Avicenne	2006	106'700'056.83	172'950'710.01	3'727'887.85
Beaujon	2006	110'201'800.42	150'362'292.62	5'261'588.16
Bicêtre	2006	188'992'455.11	260'209'479.26	7'174'435.91
Bichat	2006	189'112'278.07	263'935'608.54	7'666'690.84
Cochin	2006	258'318'313.99	423'629'764.48	8'707'791.61
HEGP	2006	194'173'573.58	251'682'398.80	11'548'251.71
Henri Mondor	2006	206'775'259.41	331'254'891.97	10'779'818.89
Hôtel Dieu	2006	103'325'151.20	136'174'000.51	4'097'668.82
Lariboisière	2006	152'115'992.49	225'936'969.39	6'941'464.94
Necker	2006	193'463'724.94	259'057'619.94	5'540'147.92
Pitié	2006	381'023'430.06	538'441'837.54	15'203'456.39
Robert Debré	2006	96'266'237.56	143'731'878.14	5'481'006.55
Saint Antoine	2006	166'586'654.78	254'114'049.17	7'812'118.36
Saint Louis	2006	175'889'529.72	215'543'764.34	8'294'931.63
Tenon	2006	153'831'260.60	201'061'077.85	6'157'462.28
Mourier	2006	71'190'236.56	141'371'964.44	3'661'857.22
Poincarre	2006	56'044'718.25	103'931'560.11	4'461'925.22
Trousseau	2006	81'180'478.53	160'327'131.62	3'560'231.96
Verdier	2006	71'652'061.15	97'019'932.92	3'278'641.69

A = année - Y = recettes - K+L = capital + recettes - K + L Tic = capital + recettes Tic

3.2 Méthode

3.2.1 Démontrer l'influence des Tic sur la production hospitalière

3.2.1.1 La fonction de Cobb-Douglas

Comme évoqué précédemment, nous avons basé nos travaux sur une fonction de production couramment employée en économie. La forme générale de cette fonction (la fonction dite de Cobb-Douglas) est la suivante :

$$y = c \prod_i x_i^{\frac{a_i}{i}} \quad <1>$$

Elle retient deux facteurs de production (*inputs*) : le capital et le travail, pour expliquer la croissance (*output*). Ce qui donne:

$$Y = AK^{\alpha}L^{\beta} \quad <2>$$

avec l'hypothèse : $\alpha + \beta = 1$ ou $\beta = (1 - \alpha)$

Y = la production ; A = coefficient constant dépendant des unités de mesure employées, nommé « résidu de Solow », correspondant à une part dite d'amélioration de l'efficacité des facteurs de production, en d'autres termes rattachée au progrès technique ; K = le capital ; α = élasticité de la production au capital ; L = le travail ; β = élasticité de la production au travail.

La fonction ainsi spécifiée, fut posée pour la première fois en 1928 et régulièrement vérifiée économétriquement par la suite [Cobb 1928]. De cette fonction mathématique on peut tirer deux concepts économiques qui permettent d'interpréter les vérifications statistiques : l'élasticité de la production aux facteurs et la notion de progrès technique.

L'élasticité est le rapport de l'accroissement relatif de la production à l'accroissement relatif d'un facteur. Elle indique les réactions de la production aux variations de ses facteurs (capital et travail pour la fonction de Cobb-Douglas). Une élasticité de la production par rapport au capital ou au travail égale à α ou β signifie qu'un accroissement de $x\%$ du volume du capital ou du travail entraîne une augmentation de x^α ou x^β de la production [Stadelmann 2003]. Dans le cas de la fonction de production Cobb-Douglas l'élasticité de substitution des facteurs est considérée constante ($\alpha + \beta = 1$), l'augmentation de la production est donc égale à l'accroissement des facteurs.

Note : Si $\alpha + \beta < 1$ l'augmentation de la production est inférieure à celle des facteurs. On dit qu'il y a « déséconomie d'échelle ». A l'inverse si $\alpha + \beta > 1$ l'augmentation de la production est supérieure à celle des quantités de facteurs. On dit qu'il y a « économie d'échelle ». De nombreuses études statistiques et économétriques ont utilisé la puissance d'analyse de la fonction de production de Cobb-Douglas, depuis sa parution, à partir de séries temporelles et intersectorielles. A la suite de ces études on considère classiquement que $\alpha = 0,3$ et que $\beta = 0,7$. Ces résultats signifient que les contributions respectives du capital et du travail à la croissance économique seraient de 30 % et 70 % en moyenne (26% et 74% pour la France entre 1974 et 1992).

La prise en compte, dans l'explication de la croissance, du et de différentes autres variables a été motivée par les résultats d'études empiriques faisant apparaître que la fonction Cobb-Douglas ne permettait pas d'expliquer la croissance par les seules quantités de facteurs de

production. C'est ce que Robert Solow, prix Nobel d'économie, a appelé le « résidu » [Solow 1956] [Solow 1957]. Le progrès technique et les dépenses d'éducation sont les deux principales variables susceptibles d'expliquer le résidu de la croissance. La productivité des facteurs (A), possède donc une valeur mesurant l'état de la technologie à un moment donné ; sa progression dans le temps donnant une idée du progrès technique au sens large [Brown 1967] [Labini 1967]. Les propriétés détaillées de la fonction de Cobb-Douglas sont présentées en annexe (7.1) et sont accompagnées de l'explication des notions macro et microéconomiques nécessaires à leur compréhension.

En partant du modèle initial de la fonction de Cobb-Douglas <2>, nous avons instancié une nouvelle fonction <3> par ajout d'une variable T , individualisant les technologies de l'information et de la communication. L'élasticité de substitution étant toujours considérée constante, nous obtenons :

$$Y = AK^\alpha L^\beta T^\gamma \quad <3>$$

en gardant l'hypothèse que $\alpha + \beta + \gamma = 1$

T va permettre d'isoler la part Tic du résidu de Solow. L'intérêt d'améliorer la fonction de production classique, réside dans le fait que la nouvelle variable possède son propre coefficient d'élasticité qui nous permettra d'estimer son importance proportionnelle dans les résultats de la production globale.

On pourra, d'ailleurs, linéariser cette fonction, afin de simplifier les calculs matriciels de recherche des coefficients d'élasticité, comme suit :

$$\log_e Y = \varepsilon + \log_e K + \log_e L + \log_e T \quad <4>$$

avec $\varepsilon = \log_e A$

Nous obtenons donc une fonction comprenant un paramètre d'*output* Y et trois paramètres d'*input* K , L , T que nous allons détailler.

3.2.1.2 Production (Y)

Symbolisée par la lettre Y , la valeur de la production utilisée dans notre étude correspond aux recettes d'exploitation des hôpitaux. S'exprimant en Euros, elle résulte de la somme des éléments suivants :

- la dotation globale de financement (DGF) ;
- les produits des tarifications (forfait hospitalier et ticket modérateur, correspondant à la part restant à la charge des usagers ou de leur mutuelle) ;
- les recettes de groupe 3 (recettes non directement liées à l'activité de soin).

Précisons qu'il s'agit de recettes et non pas de bénéfices. L'observation et le calcul de bénéfices, obtenus en diminuant les recettes d'exploitation des dépenses de fonctionnement, n'a pas d'intérêt dans notre étude qui explore la production et non les recettes. Par ailleurs la notion de bénéfice n'a pas de pertinence dans le cadre d'un service public, l'hôpital cherche à générer une plus-value en service sans notion de gain, ce qui le différencie d'une entreprise commerciale, comme une clinique privée par exemple.

3.2.1.3 Capital (K)

Le capital regroupe l'ensemble des actifs financiers et non financiers détenus par les agents économiques à un moment donné. Nous définissons le capital comme le capital accumulé par l'hôpital à partir des investissements mobiliers et immobiliers des années antérieures, modulés par un facteur de dépréciation dépendant de la nature de l'investissement en tant que bien durable (supérieur à un an). Cet amortissement s'effectue sur une durée variable (de 3 à 10 ans en moyenne, mais parfois plus) qui nous est donnée par l'application des règles communes du guide de la comptabilité analytique de L'AP-HP dans son édition de mars 2006 [Guide APHP 2006]. Pour notre étude, nous avons donc utilisé la formule d'amortissement suivante [Gapenski 2005]:

$$K_t = (K_{t-1} + NI_t) - D_t \quad <5>$$

Le capital de l'année en cours (K_t), est égal à la valeur du capital de l'année précédente (K_{t-1}) additionnée à la valeur des nouveaux investissements (NI_t) que l'on diminue d'un facteur de dépréciation calculé (D_t) [Menon 2000]. Pour notre étude la variable K exclue les investissements des technologies de l'information qui sont pris en compte par la nouvelle variable T introduite dans la fonction de production ($K = K_{total} - K_{it}$).

Note : La valeur immobilière de l'infrastructure de chaque établissement n'a pas été prise en compte. Elle est d'ailleurs impossible à évaluer finement pour certains d'entre eux. Nous l'envisageons comme une enveloppe commune dans laquelle s'effectue l'activité. Les variations individuelles d'ergonomie architecturale et de modernité se traduisent

directement dans les investissements effectués et participent de cette manière à leur prise en compte.

Les dons directs aux services hospitaliers (particuliers, protocoles, laboratoires) n'ont pas été pris en compte, car impossibles à quantifier finement.

3.2.1.4 Travail (L)

Le travail n'est pas un facteur de production uniforme, nous l'envisagerons comme un stock de travail disponible pour la production, englobant les notions de qualité et de quantité. La valeur du travail nous est donnée par les dépenses salariales effectuées dans les hôpitaux. Les personnels médicaux (PM) et les personnels non médicaux (PNM) sont traditionnellement gérés par deux sous-directions distinctes à l'AP-HP. Cela complique le recueil des données de façon sensible. Le personnel médical est connu en dépenses réelles par service. Le personnel non médical est affecté par l'intermédiaire des journées travaillées valorisées à un coût moyen AP-HP. Si l'information sur les journées travaillées nécessite souvent contrôles et rectifications, son avantage est de proposer une affectation des dépenses de personnel sur les unités où ce personnel a travaillé conformément au guide du ministère. Les valeurs retenues, pour ce travail, sont issues des infocentres de chaque sous-direction, confirmées par les informations de comptabilité analytique de la direction des finances. Elles sont donc d'une très grande précision. Une série de requêtes effectuées sur ces bases nous a permis d'obtenir les dépenses salariales complètes en Euros pour toutes les unités d'analyse (équivalent généralement à un service) dans chaque établissement. Pour mémoire ces dépenses intègrent les charges sociales et les congés quels que soient leurs types.

De la même manière que précédemment, la variable L exclue la valeur du travail des personnels dévolus spécifiquement aux technologies de l'information qui sont pris en compte par la variable T ($L = L_{total} - L_{it}$).

Par ailleurs, le bénévolat hospitalier n'a pas été quantifié.

3.2.1.5 Technologies de l'information (T)

Ce nouveau paramètre est l'agrégation des dépenses de capital spécifiques aux technologies de l'information (Tic) incluant hardware + software (K_{it}) ; et des dépenses salariales des personnels directement employés pour ces technologies (L_{it}), selon la formule :

$$T = K_{it} + L_{it} \quad <6>$$

Ce regroupement a été adopté par tous les économistes ayant travaillé dans ce domaine (cf. la synthèse bibliographique de l'article présentée en 2.2).

Les valeurs obtenues pour K_{it} sont amorties selon les mêmes techniques que pour K (ici sur une durée de 5 années) et comprennent tous les investissements concentrés ou déconcentrés en technologies de l'information identifiés des hôpitaux².

Les valeurs de L_{it} sont obtenues de la même manière que pour L . Les personnels concernés à l'assistance publique sont ceux des directions des services informatiques (DSI) auxquels nous avons ajouté les personnels affectés à la gestion du PMSI.

3.2.1.6 Analyse statistique

Les données recueillies dans notre étude ont été extraites des bases de données Oracle[®] des infocentres du siège de l'AP-HP puis mises à plat au format Microsoft Access[®]. Les résultats des requêtes SQL ont ensuite été exportés dans Microsoft Excel[®] pour la réalisation des calculs de base. Les tables ainsi créées ont été importées et analysées dans le logiciel d'économétrie Eviews[®] 6 grâce à des scripts spécifiquement programmés en utilisant des régressions suivant la méthode économétrique des moindres carrés non linéaires pour le calcul des coefficients d'élasticité. Le logiciel fonctionne selon un principe d'itérations successives jusqu'à l'obtention d'une série de valeurs rendant l'équation de plus en plus stable en éliminant le plus de résidu possible. Les mesures du p et R^2 sont données par Eviews[®]. Ces statistiques ont été vérifiées grâce au logiciel Statistica7[®].

3.2.2 Prédire la production à partir du meilleur ratio Tic vs non-Tic

3.2.2.1 Fonction de production adaptée

Pour étudier spécifiquement l'influence de Tic, il est possible d'adapter la fonction de production en utilisant ses propriétés mathématiques et agrégeant le travail relatif aux Tic au capital investi dans les Tic. Cela nous donne la variable IT . Le reste du travail et du capital non-Tic agrégés nous donne la variable (IT) et permet de poser les équations suivantes :

$$Y = A(KL)^\alpha (K_{it}L_{it})^\beta \quad <7>$$

$$Y = A(IT)^\alpha (IT)^\beta \quad <8>$$

²Lignes informatique concentrée et déconcentrée de la comptabilité analytique.

Le retour d'échelle peut aussi être considéré comme constant (i.e., $\alpha+\beta=1$). La propriété la plus intéressante de ces coefficients d'élasticité (α & β) réside dans leur définition. Cette définition nous dit qu'il est possible de substituer, dans une certaine mesure, un facteur par un autre tout en gardant la même production. C'est alors que se pose la question de trouver la meilleure proportion.

3.2.2.2 Taux marginal de substitution technique et productivité

On peut répondre partiellement à cette question en calculant le taux marginal de substitution technique (TMST). C'est le taux auquel un hôpital est capable de substituer un input par un autre en gardant le niveau d'output constant [Aprahamian 2007] [Hubbard 2008]. Dans un référentiel Tic versus non-Tic cela correspond au supplément d'investissements Tic qu'il faudrait réaliser pour maintenir la production si l'on diminuait les investissements non-Tic. En termes plus mathématiques le TMST est le rapport des dérivées de la fonction de production.

$$dY(IT, IT) = \frac{\partial Y}{\partial IT} dIT + \frac{\partial Y}{\partial IT} dIT \quad <9>$$

$$TMST(IT, IT) = \frac{\partial Y}{\partial Y} \frac{\partial IT}{\partial IT} \quad <10>$$

$$TMST(IT, IT) = \frac{A\alpha(IT)^{\alpha-1}(IT)^{\beta}}{A(IT)^{\alpha}\beta(IT)^{\beta-1}} \quad <11>$$

Quelques concepts supplémentaires ont été développés pour préciser les caractéristiques de la fonction de production. Les économistes calculent aussi la productivité de chaque input. La productivité d'un input indiquera l'influence de cet input sur l'output global, en partant du principe que les autres inputs sont constants. Cela permet ensuite de connaître la productivité moyenne (PM) de chaque input calculé grâce au rapport de la valeur d'un input sur la production globale (output).

$$PM_{IT} = \frac{Y(IT, IT)}{IT} = A(IT)^{\alpha-1}(IT)^{\beta} \quad <12>$$

$$PM_{IT} = \frac{Y}{IT} \frac{IT, IT}{IT} = A(IT)^{\alpha}(IT)^{\beta-1} \quad <13>$$

On pourra aussi mesurer la productivité marginale (PMA) d'un input qui représente l'augmentation de production que l'on obtiendrait en ajoutant une unité de cet input spécifique.

$$PMA_{IT} = \frac{\partial Y(IT, IT)}{\partial IT} = \alpha A(IT)^{\alpha-1} (IT)^{\beta} \quad <14>$$

$$PMA_{IT} = \frac{\partial Y_{IT, IT}}{\partial IT} = \beta A(IT)^{\alpha} (IT)^{\beta-1} \quad <15>$$

A ce stade il semble important de rappeler que le coefficient d'élasticité d'un input est aussi le ratio de la productivité marginale (PMA) sur la productivité moyenne de ce même input.

$$\alpha = \frac{PM_{IT}}{PMA_{IT}} \quad <16>$$

$$\beta = \frac{PM_{IT}}{PMA_{IT}} \quad <17>$$

3.2.2.3 Minimisation des coûts de production

Nantis de tous ces éléments, il devient possible de répondre à notre question initiale et ainsi d'estimer la meilleure proportion d'investissements TIC qu'il faut réaliser par rapport aux investissements non-TIC. En économie générale c'est une situation connue sous le nom de minimisation des coûts ($\text{Min}_{IT, IT} C$) sous contrainte de production (Q) [Greene 2003] [Gujarati 2003] [Hubbard 2008]. Dans notre situation, l'hôpital à une contrainte ou des objectifs budgétaires.

Donc en connaissant le budget annuel, les objectifs de production et les coefficients d'élasticité de tous les inputs, il devient possible de calculer la meilleure proportion de chacun d'entre eux dans une perspective économique.

$$\begin{aligned} \text{Min}_{IT, IT} C_{IT, IT} &= IT + IT + f \\ \text{contrainte } Q_{IT, IT} &= A(IT)^{\alpha} (IT)^{\beta} = Q \end{aligned}$$

$$\text{optimum}_{IT} = \frac{Q}{A \frac{\beta}{\alpha}}^{\frac{1}{\alpha+\beta}} \quad <18>$$

$$\text{optimum}_{IT} = \frac{Q}{A \frac{\alpha}{\beta}} \alpha^{\frac{1}{\alpha+\beta}} \quad <19>$$

4 Résultats

4.1 Démontrer l'influence des TIC sur la production hospitalière

En envisageant maintenant les technologies de l'information et de la communication comme un facteur de production dans un hôpital, il devient envisageable d'en mesurer l'influence, et donc la valeur, par l'utilisation des techniques économétriques employées par les statisticiens, les informaticiens et les analystes du monde de l'économie et de la finance [Brynjolfsson 1996] [Greene 2003] [Gujarati 2003].

Il est ainsi concevable de :

- **Montrer** que l'on peut utiliser les fonctions économétriques classiquement manipulées en macro et microéconomie sur des données d'activité hospitalière.
- **Calculer** l'influence des investissements en technologies de l'information dans la production hospitalière.
- **Comparer** les coefficients d'élasticité des facteurs expliquant la production hospitalière dans plusieurs groupes d'hôpitaux séparés sur des critères de niveau d'intégration des technologies d'information.
- **Utiliser** les données calculées pour prédire les futurs résultats de production des hôpitaux en fonctions des différents investissements réalisés.
- **Améliorer** la gouvernance des SIH.

En considérant 17 hôpitaux parisiens de l'assistance publique suivis de 1998 à 2005, nous avons utilisé une fonction de production de Cobb-Douglas étendue. Les recettes annuelles (Y) ont été corrélées à trois variables explicatives : les investissements en capital (K), en travail (L) et en technologies de l'information (T). Les résultats indiquent que les recettes sont significativement et positivement liées aux trois variables précédentes. Les coefficients d'élasticité de ces variables sont dans les normes des chiffres que l'on observe en général dans le secteur secondaire et tertiaire (α , β , γ de 0.17, 0.76, et 0.08) [Bernier 2001]. Le coefficient d'élasticité des technologies de l'information (γ) est plus élevé dans le sous-groupe qui possède un système d'information plus intégré durant la période de l'étude, et semble indiquer qu'il sera d'autant plus élevé que le niveau d'intégration sera élevé. De fait, confirmant l'influence positive des technologies de l'information médicale dans les revenus des hôpitaux.

Impact of Health Care Information Technology on Hospital Productivity Growth: a Survey in 17 Acute University Hospitals

Rodolphe Meyer^{1,2}, Patrice Degoulet¹, Louis Omnes³

¹INSERM- U729 and Hôpital Européen Georges Pompidou, Paris, France

²Centre de Traitement de l'Information Médicale des Armées, Saint-Mandé, France

³Assistance Publique Hôpitaux de Paris, Paris, France

Abstract

The quantification of the added value of information technologies (IT) in the health sector is a major issue for decision-makers and health care professionals. This paper relates the application of an economic production function in hospitals with different integration levels of their clinical information systems (CIS).

The study concerns 17 university hospitals within the Assistance Publique Hôpitaux de Paris group that were followed from 1998 to 2005. Using an extended Cobb-Douglas production function, yearly incomes (Y) were correlated with three inputs: capital (K), labor (L) and IT expenses (T).

The results indicate that incomes are significantly and positively associated with the three input variables with elasticity coefficients: α , β , and γ of 0.81, 0.17, and 0.09 that appear to be in the range of values found in secondary and tertiary sectors. The IT elasticity coefficient (γ) is higher in the subgroup of 6 hospitals that integrate, or started to integrate, a complete CIS within the study period than in the 11 reference hospitals.

In a general production function, hospital costs appear to be positively connected to the level of IT expenses, capital and labor. Calculations in two subgroups of AP-HP hospitals divided according to the importance of the IT integration level seem to indicate that the more the clinical information system is integrated, the more its influence is positive in hospital production. The results of this first survey are sufficiently encouraging to try to refine them (better granularity) and to spread them in time (over a longer period) and space (to other hospital structures).

Keywords: Information technologies, Production function, Cobb-Douglas, Productivity, Integration level.

Introduction and objectives

Since the 18th century, it has been common to link the growth and productivity of an enterprise to the elements, or production factors, used to generate products or services. The explanation of the economic growth by the combination of production factors led to the notion of production function, a mathematical

relationship established between the production (output) and the factors put together to obtain it (inputs). A major step in this field was achieved by the American economist Paul Douglas and the mathematician Richard Cobb [1], who proposed a non-linear function linking yearn (Y), capital (K) and labor (L). The initial studies with this function undertaken in 1930 particularly concerned the industrial sector, and since then have spread to all economic sectors seeking efficiency. In 1956, Robert Solow [2] enhanced the function by introducing a new factor known as the Solow residual that is related to the technology level. In the 1970s, information technologies (IT) became tools capable of influencing capital and labor in a direct way. Since then, they have represented important investments and led to changes to workers and their organization; therefore, IT efficiency needed to be evaluated [3].

In the health care domain, the development and spread of the first hospital information systems (HIS) also began in the 1970s [4,5]. After a slow implementation and acceptance phase, their installation has accelerated due to political and economic encouragement. HIS had high strategic and economic importance, in particular after studies emphasized its possible role in improving the quality of care or reducing medical errors [6]. However, HIS constituted a new expenditure line that did not bring proof of its profitability, and this raised the problem of justifying the associated investments. In addition, classic economic analysis models applied to hospitals must be adapted to integrate health care specificities. Economic studies in the medical information domain raise theoretical and practical issues such as the definition and measurement of hospital production, efficiency or productivity [7,8]. Yet, it is essential in the health domain to be able to estimate the impact of technology investments on hospital activities.

This study had two main goals:

1. To show that a classic econometric production function is adaptable to the health care world.
2. To compare the share of IT in the production function between two sets of hospitals split on an IT integration level basis.

Materials and methods

Hospitals

The study concerns 17 of the 38 Paris university hospitals within *Assistance Publique Hôpitaux de Paris* (AP-HP) (Table 1). These hospitals were selected according to their size (more than 350 beds) and activity (acute and short-term care). Data used in this study range from 1998 to 2005, and give a total of 136 complete annual observations. The 17 hospitals were split into two groups according to their IT integration level. Group 1 consisted of 11 hospitals having mainly administrative and ancillary department management systems (i.e., laboratory, radiology and pharmacy). Group 2 consisted of 6 hospitals that installed or had started to install an integrated clinical information system (CIS) during the study period. Hospital H12 began the installation of its CIS in 1998, H13 in 2000, and H14 to H17 throughout t 2003.

Table 1 – Sample of data from the 17 hospitals, 2005

Hospital	Nb. beds	Y ^(*)	K ^(*)	L ^(*)	T ^(*)
Group 1					
H 1	468	129.6	29.4	78.8	3.45
H 2	413	140.6	31.8	80.2	2.73
H 3	530	152.2	36.3	94.6	3.03
H 4	597	152.3	42.2	91.8	3.83
H 5	929	270.0	52.2	151.9	5.02
H 6	484	144.3	34.3	92.5	2.78
H 7	1008	214.7	40.4	157.5	5.68
H 8	602	273.4	51.5	162.5	5.28
H 9	1826	530.9	118.0	338.4	12.2
H 10	779	254.8	53.5	151.1	5.67
H 11	672	232.2	43.6	127.5	6.09
Group 2					
H 12	423	132.1	34.9	91.5	3.86
H 13	833	232.9	54.8	160.4	10.2
H 14	874	380.6	95.7	236.5	6.22
H 15	859	246.5	84.5	158.3	8.79
H 16	907	281.7	67.4	162.2	6.95
H 17	569	267.9	47.7	132.8	7.38

(*) Y = yearn, K = capital, L = labor, and T = IT in millions €

Production Function

Using an aggregate Cobb-Douglas function (1) [9,10] the links between hospital production (Y) and three different inputs – capital stock (K), quantity of labor (L), information technologies (T) – and the Solow residual (A) were evaluated assuming the constant elasticity of substitution of the inputs (i.e., $\alpha + \beta + \gamma = 1$) [11].

$$Y = A \cdot K^\alpha \cdot L^\beta \cdot T^\gamma \quad (1)$$

Knowing the value of the output (Y) and of the inputs (K, L and T), the value of the α , β and γ elasticity factors were

calculated to estimate the importance of each input in the explanation of the observed output.

Output and Inputs

For each hospital, the value of the production Y was assimilated to the yearly incomes of the hospital in millions of Euros.

K regroups the financial assets owned by the structure during the study period. The capital at year t is defined as the accumulated assets and real estate investments of the previous years, modulated by a depreciation factor depending on the nature of the investment. This depreciation varies between 3 to 10 years depending on the French Government's guidelines in use [12]. Capital stock is defined as the capital accumulated by the hospitals from past and current investments, adjusted with depreciation. Capital stock represents the capability of hospitals' productive assets, whereas annual investments only reflect assets acquired during a particular year. Hence, productive capital stock in a hospital is measured by the following depreciation formula [13]:

$$K_t = (K_{t-1} + NK_t) - D_t \quad (2)$$

The assets of the studied year (K_t) are equal to the value of the assets of the previous year (K_{t-1}) added to the value of the new investments (NK_t) decreased by a factor of calculated markdown (D_t) [14]. In this study, the K variable excludes IT investments.

The annual measurement of labor input L in Euros was delivered by hospital's budget records and it involved medical as well as non-medical hospital employees during the past years excluding IT workers.

T is the aggregation of IT-specific expenses including salaries, hardware and software expenses with their depreciation (i.e., $T = \text{IT capital} + \text{IT labor}$) [14–20].

Statistical Analysis

Data collected in our survey has been retrieved from the financial systems of the 17 hospitals and were computed via scripts using the Eviews® 5 econometric software. The results for the R2 coefficient and Durbin-Watson's statistics were given by Eviews®. These statistics have then been cross-checked with Statistica® 7.

Results

Output and Inputs

The values of Y, K, L and T increased constantly since 1998 (Table 2). Between 1998 and 2005, Y increased by 47.1%, K by 69%, L by 28.4% and T by 37%.

IT expenses represented 2.8% (5.8 millions €) of the global expenses (205.3 millions €) in 2005.

Table 2 - Average output and inputs values (17 hospitals 1998–2005)

Year	Y ^(*)	K	L	T
1998	161.4	32.1	113.1	4.3
1999	166.4	37.2	116.1	4.6
2000	172.4	42.4	121.0	4.9
2001	182.7	48.8	125.0	5.3
2002	197.3	51.2	131.4	5.3
2003	201.8	55.2	138.1	5.6
2004	226.2	56.7	140.6	6.2
2005	237.5	54.3	145.2	5.8

(*) Y=yearn, K=capital, L=labor, T=IT (millions €)

Share of Input Factors

For the 17 hospitals, the share of capital, labor and IT were respectively 0.168, 0.766 and 0.085 (Table 3). All coefficients were statistically significant ($p < 0.05$). The Solow residual is 0.81. Durbin-Watson's statistic is between 1.51 and 2. The value of the R2 is highly significant (0.97, $p < 0.0001$).

Table 3 - Share of factors (17 hospitals - 2005)

	Value	Std. Error	t-Statistic	p
A	0.8146	0.0430	18.935	0.0300
α	0.1686	0.0509	3.3086	< 0.0001
β	0.7657	0.0555	13.791	0.0216
γ	0.0853	0.0361	2.3643	0.0094
R2 : 0.9701		Durbin-Watson : 1.5772		

A = Solow residual α = share of capital β = share of labor γ = share of IT

The γ value for IT is in the range of results [0.03 to 0.16] from other studies performed in secondary and tertiary economical sectors (industry and services) [14, 16–20] (Table 4).

Table 4 - Share of factors in industry and service studies

Studies [14,16–20]	α	β	γ	R2
Hitt – 1994 [16]	0.2280	0.6860	0.0307	0.9510
Hitt – 1999 [17]	0.1300	0.7300	0.1100	0.9400
Lin – 2000 [18]	0.1240	0.7890	0.1600	0.9750
Shao – 2001[14]	0.2121	0.7040	0.0619	-
Bresnahan – 2002 [19]	0.1380	0.7530	0.0347	0.9080
Osei-Brison – 2004 [20]	0.2120	0.6630	0.0883	0.9700

 α = share of capital β = share of labor γ = share of IT

CIS integration level influence on elasticity coefficients

Table 5 compares the inputs' (K, L, and T) elasticity coefficients values in the two groups of hospitals. All elasticity

coefficients remain statistically significant, and γ is higher in group 2 (integrated CIS) than in group 1 (0.103 vs 0.072).

Figure 1 shows that in both groups, the IT coefficients (γ) increase from 1998 to 2005, and there is a higher slope from 2003. The difference between group 1 and group 2 has also increased since 2003.

Table 5 - Share of factors for the two groups (2005)

Group 1 (n=11) – no CIS				
	Value	Std. Error	t-Statistic	p
A	0.5985	0.0747	8.0052	0.0052
α	0.1703	0.0501	3.4019	0.0010
β	0.7853	0.0559	14.029	< 0.0001
γ	0.0723	0.0292	2.4759	0.0082
R2 : 0.9698		Durbin-Watson : 1.7361		
Group 2 (n=6) – integrated CIS				
	Value	Std. Error	t-Statistic	p
A	1.1891	0.0634	18.762	0.0057
α	0.1619	0.0763	2.1218	0.0005
β	0.7441	0.0837	8.8837	< 0.0001
γ	0.1033	0.0533	1.9369	0.0083

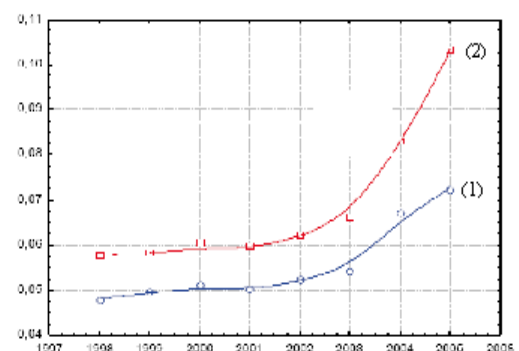
A = Solow residual α = share of capital β = share of labor γ = share of IT

Figure 1: Share of IT- Group 1 (circles) vs Group 2 (squares)

Discussion and Conclusion

The economic approach of capital efficiency is generally represented by the informal ratio of production divided by capital expenditure [21]. The larger the ratio, the better the capital efficiency is, and thus leads to greater output. Long-term economic models, and especially growth accounting analysis [22], use the capital stock per worker ratio to study the impact of capital expenditure and capital stock increase on long-term output growth (e.g., the Robert Solow model completed by different endogenous growth theories [23, 24]). The common use of production functions described by Cobb and Douglas began in the 1930s, but it's only since the mid-1990s that researchers used its mathematical properties to

isolate the share of IT in the production of various factories and business enterprises [15–20].

In the health care domain, numerous studies have measured the indirect earnings (quality and continuity of care, satisfaction of the users, etc.). However, very few studies have attempted to measure the direct earnings deriving from the integration of the different HIS components. The contradictory results of these studies frequently drive hospital managers to make decisions only on expected indirect benefits.

This study started with two goals: to try to use a classic econometric function on French hospitals data to isolate the share of IT in the hospital production, and to compare the share of factors between two sets of hospitals split on an IT integration level basis.

The first results show that using a function traditionally employed by economists in their analyses of the business world is possible within the health care world. In addition, the elements brought by the Cobb-Douglas production function stress the importance of the human factor in explaining the hospitals' production results. With a β coefficient of 0.76, share of labor in the hospital is slightly superior to what is generally admitted in the industrial or service sector in France (0.70) [25].

If we compare the two groups, our results tend to show that the share of IT explaining the production observed is about 1.7 times more important in structures having a higher level of CIS integration than in the low-level ones. It is also important to notice that the share of IT explaining the production is measured between 0.07 (group 1) and 0.10 (group 2) and that the share of capital is measured between 0.17 (group 1) and 0.16 (group 2). When we know that IT investments represent only 11% of capital investment in the two groups, this may be a sign of the importance of IT in hospital production. It also shows that, in the end, a high level of IT integration is not necessarily more expensive than a low-level one.

The introduction of the IT input (**T**) in the production function takes into account the place of high technology in the hospital and its importance in modern health care activity. Numerous studies [18–24] emphasized their T input to smooth the differences observed with the global assets. They multiplied the IT labor value by a determined factor ranging from two to seven according to complex depreciation rules. Using the same approach in our work returned less pertinent results. And therefore we didn't adopt it. The creation method of the T variable could be changed by extending it to workers and materials also closely related to the HIS-like image producing systems (i.e., scanner) and laboratory automats that could be considered as acquisition peripherals. We limited ourselves strictly to the HIS officially assigned material and workers, having in mind that the border separating pure computer science from the techniques involving its presence is growing thinner.

A postulate known as the productivity paradox describes IT more or less like a victory that costs more than it achieves. Several authors [26, 27] analyzed this paradox in various industrial sectors to attempt to decide on its reality. The results

are still contradictory. However our data seem to confirm the positive impact of IT on the studied hospital production during an eight-year period of follow-up. This global analysis needs to be completed by an individual analysis of hospital productivity before and after the introduction of their CIS since the different HIS implementation starting years in our study might have hidden some production that could appear just after the introduction of a CIS.

Since we showed that the initial production function could be enhanced using its mathematical properties, we can suppose that other constructions could be imagined that focus more specifically on one point or another (like the share of non-medical labor versus the share of the medical labor).

Information technologies are a composite mix of hardware software, knowledge, integration level, operational support and infrastructures. Our study showed us that IT investments are bringing value and contribute in positive way to hospital production. The separation of the hospitals into groups based on various other criteria (such as activity or volume) could sharpen the analysis of IT impact on hospital activity and production. Extension of this work to other hospital structures on a longer period of follow-up could also prove interesting.

On a methodological level, the econometric field is a vast area possessing a large quantity of mathematical functions that could prove useful to try on our data. These functions are either instantiations of the Cobb-Douglas function or new approaches born from mathematic research used by economists worldwide (Box-Cox, Box Tidwell, regression spline or stochastic borders analysis for example) [28, 29]. Considering the colossal increase in IT expenses and the size of IT costs in hospitals, this kind of analysis could permit hospital managers to obtain tools to aid decisions and enable the enhancement of IT governance in the health care business [30–33].

Acknowledgments

The authors would like to thank all the AP-HP staff who participated to the collection of this survey data, particularly J.P. Lefort, G. Pichaul, M.P. Ferec, D. Heudes and V. Woszto.

References

- [1] Cobb C.W, Douglas P.H. A Theory of Production. *American Economic Review*, 1928 ; 18 (1) : pp. 139-65.
- [2] Solow RM. A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*. 1956; LXX, pp.65-94.
- [3] Pugh M.D, *Dashboards and scorecards : tools for creating alignment*, in The healthcare quality book, Health Administration Press Chicago, 2004 ; pp. 213-40.
- [4] Van de Velde R, Degoulet P. *Clinical informations systems, a component based approach*, Springer-Verlag New-York Inc, 2001 ; pp. 1-14.
- [5] Tan J. *E-Health Care information systems*, Jossey-Bass San Francisco, 2005 ; pp. 14-16.
- [6] Kohn LT, Corrigan JM, Donaldson MS, eds. *To Err Is Human: Building a Safer HealthSystem*. Institute of Medicine, Washington DC: National Academy Press; 1999.

- [7] Koc C. The productivity of health care and health production functions. *Health Econ.* 2004; 13(8): 739-47.
- [8] Hollingsworth B, Dawson PJ, Maniadakis N. Efficiency measurement of health care: a review of non-parametric methods and applications. *Health Care Manag Sci.* 1999; 2(3): 161-72
- [9] Greene W. *Économétrie*, Pearson éducation France, 2005 ; pp. 7-10,19-38,484-487.
- [10] Stadelmann D. *Fonction de production – illustration des propriétés pour l'analyse économique*. Séminaire de l'université de Fribourg, 2003-2004.
- [11] Solow RM. A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics.* 1956 ; LXX, pp. 65-94.
- [12] Guide de la comptabilité analytique, AP-HP - direction économique et financière - département contrôle de gestion - service analyse de gestion. Version 3 du 1er mars 2006.
- [13] Gapenski C. *Healthcare Finance : an introduction to accounting and financial management*, Health Administration Press Chicago, 2005 ; pp. 95.
- [14] Shao B, Lin W. Measuring the value of information technology in technical efficiency with stochastic production frontiers, *Information and Software Technology*, 2001 ; 43 : pp. 447-456.
- [15] Menon N, Lee B, Eldenburg L. Productivity of information systems in the healthcare industry, *Information Systems Research*, 2000 ; 11 (1) : pp. 83-92.
- [16] Hitt L, Brynjolfsson E. *Creating value and destroying profit ? Three measures of information technology's contributions*. MIT Sloan school papers, december 1994.
- [17] Hitt LM, Snir EM, *The role of information technology in modern production: complement or substitute to other inputs?* University of pennsylvania papers, January 1999.
- [18] Lin T, Shao B. Relative sizes of information technology investments and productive efficiency: Their linkage and empirical evidence. *Journal of the Association for Information Systems*, 2000; 1(7): pp. 1-35.
- [19] Bresnahan TF, Brynjolfsson E, Hitt LM. Information technology, Workplace Organization, and the demand for skilled labor: Firm-level evidence. *Quarterly Journal of Economics, The Quarterly Journal of Economics*, 2002; 117(1): pp. 339-376.
- [20] Osei-Brison KM, Ko M. Exploring the relationship between information technology investments and firm performance using regression splines analysis. *Information & management*, 2004 ; 42 : pp. 1-13.
- [21] Brinkerhoff RO, Dressler DE. *Productivity measurement: a guide for managers and evaluators*, Newbury Park (Calif): Sage. 1990; pp. 16.
- [22] Baier SL, Dwyer GP, Tamura R. *How Important Are Capital and Total Factor Productivity for Economic Growth?* Federal Reserve Bank of Atlanta Working Paper No. 2002-02, Mar 2005.
- [23] Barro RJ. Notes on Growth Accounting. *National Bureau of Economic Research Working Paper No.W6654*. Jul 1998.
- [24] Romer PM. The Origins of Endogenous Growth. *Journal of Economic Perspectives.* 1994; 8(1): 3-22.
- [25] Bernier B, Simon Y. *Initiation à la macroéconomie*. Dunod : Paris, 2001 ; pp. 507-47.
- [26] Brynjolfsson E. *The productivity paradox of information technology : Review and assessment*. MIT Sloan school papers, december 1991.
- [27] Brynjolfsson E. The Productivity Paradox of Information Technology, *Communication of ACM*, 1993 ; 36 : pp. 67-77.
- [28] Osei-Brison KM, Ko M. The productivity impact of information technology in the healthcare industry: an empirical study using a regression spline-based approach. *Information & Software Technology*, 2004 ; 46 : pp. 65-73.
- [29] Lin T, Shao B. The business value of information technology and inputs substitution: the productivity paradox revisited. *Decision Support Systems*, article in Press, 2005.
- [30] Georgel F. *IT gouvernance: maîtrise d'un système d'information*. Dunod, Paris, 2005; pp. 95-105.
- [31] Fahy M, Roche J, Weiner A. *Beyond governance: creating corporate value through performance, conformance and responsibility*. Wiley & Sons Ltd, Chichester England, 2004; pp. 131-61.
- [32] Bleom J, VanDoorn M, Mittal P. *Making IT governance work in a Sarbanes-Oxley world*. Wiley & Sons Inc, Hoboken, USA, 2006; pp. 46-90, 153-157.
- [33] Frist B, Clinton H. How to Heal Health Care. *Washington Post*. Wednesday, August 25, 2004; Page A17.
[http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/articles/A30277-2004Aug24.html]

Address for Correspondence

Dr Rodolphe Meyer, MD, MPH
Centre de Traitement de l'Information Médicale des Armées.
BP 130 – 00481 Armées
rodolphe.meyer@spim.jussieu.fr

Pr Patrice Degoulet, MD, PhD
Département d'Informatique Hospitalière - HEGP
20, rue Leblanc - 75015 Paris
patrice.degoulet@egp.aphp.fr

4.2 Prédire la production à partir du meilleur ratio Tic vs non-Tic

Une fois l'objectif de montrer l'impact financier positif des technologies de l'information hospitalière sur les recettes atteint, il semble naturel de se pencher sur le meilleur ratio à investir pour obtenir les meilleurs résultats. Cela afin de proposer un outil d'aide à la décision qui pourrait être utilisé pour rationaliser la répartition des finances hospitalières.

Nous avons, pour ce faire, utilisé une fonction de production et des outils microéconomiques sur les données de 21 hôpitaux universitaires de Paris enregistrées entre 1998 et 2006. Nous avons ensuite calculé les coefficients d'élasticité des technologies de l'information (Tic), associant investissement et valeur du travail, en tant que facteur de production comparé aux investissements ne concernant pas les technologies de l'information (non-Tic) dans le but d'optimiser la distribution des investissements selon la productivité associée à chaque apport.

Résultats : Les apports Tic et non-Tic ont tous deux un impact positif et significatif sur la production hospitalière (coefficients d'élasticité respectivement de 0.106 et 0.893; R2 de 0.92). Nous pouvons prédire les résultats de 2006 à partir de l'ensemble de données de 1998-2005 avec une précision de + 0,61%. Avec le modèle utilisé, la meilleure proportion d'investissements de Tic a été estimée à 10,6% des apports totaux ce qui pourrait conduire à une économie totale de 388 millions d'euros pour l'ensemble des données 2006 en conservant les mêmes recettes.

La considération de l'investissement Tic du point de vue d'un portefeuille global et l'application d'outils d'économétrie et de microéconomie permet d'atteindre le niveau de confiance exigé pour choisir la juste quantité d'investissements de Tic. Cela permettrait également aux hôpitaux utilisant ces outils de faire des économies substantielles et les aiderait aussi dans leurs choix financiers pour l'exercice suivant.



Choosing the right amount of healthcare information technologies investments

Rodolphe Meyer^{a,c,*}, Patrice Degoulet^{b,c,1}

^a University Hospitals of Geneva, Geneva, Switzerland

^b Université Paris Descartes & HEGP, Paris, France

^c INSERM - U729, Paris, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 28 September 2009

Received in revised form

31 December 2009

Accepted 4 January 2010

Keywords:

Healthcare information technologies
Investments
Production function
Econometrics

ABSTRACT

Objectives: Choosing and justifying the right amount of investment in healthcare information technologies (HITECH or HIT) in hospitals is an ever increasing challenge. Our objectives are to assess the financial impact of HIT on hospital outcome, and propose decision-helping tools that could be used to rationalize the distribution of hospital finances.

Design: We used a production function and microeconomic tools on data of 21 Paris university hospitals recorded from 1998 to 2006 to compute the elasticity coefficients of HIT versus non-HIT capital and labor as regards to hospital financial outcome and optimize the distribution of investments according to the productivity associated with each input.

Results: HIT inputs and non-HIT inputs both have a positive and significant impact on hospital production (elasticity coefficients respectively of 0.106 and 0.893; R^2 of 0.92). We forecast 2006 results from the 1998 to 2005 dataset with an accuracy of +0.61%. With the model used, the best proportion of HIT investments was estimated to be 10.6% of total input and this was predicted to lead to a total saving of 388 million Euros for the 2006 dataset.

Conclusion: Considering HIT investment from the point of view of a global portfolio and applying econometric and microeconomic tools allow the required confidence level to be attained for choosing the right amount of HIT investments. It could also allow hospitals using these tools to make substantial savings, and help them forecast their choices for the following year for better HITECH governance in the current stimulation context.

© 2010 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

1. Introduction and objectives

It has become almost impossible to make a strategic decision without involving information technology (IT) in modern hospitals [1]. For example, the new 2009 American Recovery and Reinvestment Act (ARRA) regarding Health Information Technologies (HITECH or HIT) gives strong incentives concerning high technology investments and especially electronic

health records (EHRs) in US hospitals [2]. However, HIT continues to increase expenditure on lines for which nearly all decision makers believe that clear profitability has not been demonstrated [3]. Difficulties in capturing the impact of IT in national economies have first been expressed by Economy Nobel Prize winner Robert Solow's in a New-York Times 1987 interview: "You can see the computer age everywhere but in the productivity statistics". If there is widespread agreement about the importance of health information systems (HIS), the per-

* Corresponding author at: University Hospitals of Geneva, Service of Medical Informatics, 24, rue Micheli-Du-Crest, CH-1211 Genève 14, Switzerland. Tel.: +41 0 22 30 55 878.

E-mail addresses: rodolphe.meyer@sim.hcuge.ch (R. Meyer), patrice.degoulet@egp.aphp.fr (P. Degoulet).

¹ Address: Université Paris Descartes & HEGP, Laboratoire SPIM, 15 rue de l'école de Médecine, 75006 Paris, France.

1386-5056/\$ – see front matter © 2010 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.
doi:10.1016/j.ijmedinf.2010.01.001

ceived lack of financial benefits raises the recurrent problem of justifying the associated investments and deciding on the appropriate amount of money to spend on IT. The result is that IT investments will inevitably be too low in the opinion of chief information officers (CIO) and always too high for chief executive officers (CEO). It has as a consequence become essential to quantify accurately the added value of appropriate IT investments in the healthcare sector [4].

Relationships between IT and hospital activities are indeed complex and the economic impact of new IT investments is difficult to grasp. To perform this task, the most common tools available are accounting methods like cost benefits analysis, net present value and internal rate of return [3,5–10]. These return-on-investment (ROI) methods can be applied to almost every investment project of any kind. Cost-benefit analyses [4,11–13] mainly emphasize the indirect earnings (e.g., quality and continuity of care, users' satisfaction, and process optimization) transformed into a monetary value of implementing a particular clinical information system component (e.g., computerized physician order entry (CPOE), clinical decision support systems (CDSS) or picture archiving and communications systems (PACS)) [1,3,14–18]. To achieve the best results these methods have to accumulate an exponentially increasing number of variables which might result in them failing as they become overly complex. In most cases, as the accuracy required increases, the amount of effort needed to feed the method rather than working the project also increases. Furthermore, all these financial methods, when used to evaluate a future investment, tend to be systematically biased against innovation [5,19]. As Christensen said in the January 2008 Harvard Business Review about their exclusive use "they divert resources away from investments whose payoff lies beyond the immediate horizon" [20]. In addition, all studies using accounting ROI reach their limits by focusing only on specific, identified and targeted types of benefits, neglecting the overall added value of the project on a strategic level. Only a handful of studies have attempted to measure overall earnings resulting from the integration of the different HIS components into a global portfolio or strategic approach [13,6,21,22]. Isolating and trying to measure the value added by a single project, like a PACS acquisition and deployment, is akin to assessing the value contributed by the cheese to a pizza. As Computer world columnists pointed out "the idea that there are IT projects must be abandoned. There are only projects targeted at improving business processes, developing new products or services, delivering more efficient customer service or improving some other aspect of business performance" [23].

Thus, many decision makers rely only on classic financial techniques that do not necessarily capture all the business benefits of their IT investment [24] and the contradictory results of some of these studies frequently lead hospital managers to make decisions solely on the basis of expected indirect benefits and/or empirical evidence.

A complementary approach to respond to this issue is provided by the set of tools emerging from econometric research. Econometrics is concerned with the development and application of quantitative and statistical methods to the study and elucidation of economic principles [25,26]. These methods can be extended from the macroeconomic level to the level of individual businesses to analyze the overall impact of partic-

ular investments in a global portfolio perspective as validated in prior research on industrial business [5,22]. In a preliminary study of 17 French acute-care hospitals, we observed a positive and significant relationship between IT investment (including capital and labor) and hospital productivity over an 8-year period (1998–2005) [21]. The results also showed that the expected benefits from the investments made were directly related to the integration level of the HIS: the higher the integration level, the greater the benefits. Another econometric study, based on a much larger but heterogeneous set of two thousand US hospitals, showed that higher levels of IT investment correlate with improved hospital cost performance [22]. This study also showed that IT acquisitions are cost-additive until a "critical mass" is achieved, at which point the relationship becomes neutral for a period of time but ultimately turns positive. Another interesting result is that there is a natural lag between technology implementation and the emergence of benefits. Cost reductions can be made in the same year as the IT acquisition, but generally it took 2–5 years to break even [22].

This paper explores the relationships between hospital financial outcomes and IT and non-IT inputs in a longitudinal study of 21 university hospitals. The objectives are (1) to assess the respective links between IT and non-IT inputs and hospital outcomes; (2) to assess the predictive capacity of an econometric model in an homogenous group of structures; (3) to measure the technical substitution relationship between IT and non-IT investments; and (4) to compute the optimized proportion of IT inputs versus non-IT inputs to get the best incomes for an hospital.

2. Materials and methods

2.1. Production functions

The economic approach of capital efficiency is generally represented by the ratio of production divided by capital expenditure [26]. A large ratio indicates better capital efficiency, leading to a greater output [27–29]. In the econometric field, sensitive data on this efficiency are provided by the utilization of a production or cost function. A production function links the growth and productivity of an enterprise to the elements, or production factors, used to generate products or services [30]. A mathematical relationship is established between the production (output) and the factors put together to obtain it (inputs). The American economist Paul Douglas and the mathematician Richard Cobb made a major step forward by proposing a non-linear function linking year or output (Y), capital (K) and labor (L) [30,31]. The initial studies with this function undertaken in 1930 particularly concerned the industrial sector, and since then it has been applied in all economic sectors seeking efficiency. In 1956, Nobel Prize winner Robert Solow enhanced the function by introducing a new factor known as the Solow residual (A) that is traditionally regarded as a marker of technology level [32]. The Solow production function can be expressed as

$$Y = AK^\alpha L^\beta \quad (1)$$

where Y represents the output (or year) observed; K is the capital stock modulated by a depreciation factor depending on the nature of the investment; and L is the quantity of labor expressed as a monetary value. Alpha and beta are called elasticity coefficients and represent the share of each input explaining the output Y .

The classical Cobb-Douglas functions assume constant elasticity of substitution of the inputs (i.e., $\alpha + \beta = 1$) an assumption that economists also call constant return to scale [31]. We choose to assume the same constant elasticity in this study. Knowing the value of the output (Y) and of the inputs (K , L), the value of the elasticity factors α and β can be calculated to estimate the contribution of each input to the observed output [33].

Studies aiming to compute the impact of information technologies traditionally regroup IT capital and IT labor in a third variable called T still assuming the constant elasticity of substitution of the inputs (i.e., $\alpha + \beta + \gamma = 1$) [5,21]:

$$Y = AK^\alpha L^\beta T^\gamma \quad (2)$$

The mathematical properties of the function can be used to adapt it to study the effects of IT in comparison to those of other inputs. For this purpose, the capital and labor are combined and then separated between what is associated with IT and what is not. This leads to the following equation:

$$Y = A(\overline{IT})^\alpha (IT)^\beta \quad (3)$$

where \overline{IT} represents the amount of non-IT capital and labor investments (called non-IT inputs); and IT represents the same capital and labor investments restricted to the IT field (called IT inputs). The constant return to scale (i.e., $\alpha + \beta = 1$) can also be assumed for this function. The most interesting property of the constant elasticity of substitution of the inputs lies in its definition. It assumes that it is possible to substitute non-IT inputs with IT inputs to achieve the same production. This allows evaluation of the proportion of an input that can be substituted with the other.

2.2. Marginal rate of technical substitution

The marginal rate of technical substitution (MRTS) is the rate at which an enterprise is able to substitute one input for another while keeping a constant level of output [34,35]. For our context of non-IT versus IT input, the MRTS corresponds to the supplementary amount of IT input needed to maintain the production level when a unit of non-IT is eliminated. Mathematically, the MRTS is the ratio of the production function derivatives:

$$dY(\overline{IT}, IT) = \frac{\partial Y}{\partial \overline{IT}} d\overline{IT} + \frac{\partial Y}{\partial IT} dIT \quad (4a)$$

$$MRTS(\overline{IT}, IT) = \frac{\partial Y / \partial \overline{IT}}{\partial Y / \partial IT} \quad (4b)$$

$$MRTS(\overline{IT}, IT) = \frac{A\alpha(\overline{IT})^{\alpha-1}(IT)^\beta}{A(\overline{IT})^\alpha\beta(IT)^{\beta-1}} \quad (4c)$$

2.3. Average and marginal productivity

The productivity of an input indicates the influence of this input on the output, given that the other inputs remain constant. The average productivity (AP) of an input represents the total output produced divided by the quantity of a specific input:

$$AP_{\overline{IT}} = \frac{Y(\overline{IT}, IT)}{\overline{IT}} = A(\overline{IT})^{\alpha-1}(IT)^\beta \quad (5)$$

$$AP_{IT} = \frac{Y(\overline{IT}, IT)}{IT} = A(\overline{IT})^\alpha(IT)^{\beta-1} \quad (6)$$

The marginal productivity (MP) of an input represents the additional production obtained when adding one unit of that particular input:

$$MP_{\overline{IT}} = \frac{\partial Y(\overline{IT}, IT)}{\partial \overline{IT}} = \alpha A(\overline{IT})^{\alpha-1}(IT)^\beta \quad (7)$$

$$MP_{IT} = \frac{\partial Y(\overline{IT}, IT)}{\partial IT} = \beta A(\overline{IT})^\alpha(IT)^{\beta-1} \quad (8)$$

The elasticity coefficient of an input is the ratio of the marginal productivity of this input to the average productivity of this same input:

$$\alpha = \frac{MP_{\overline{IT}}}{AP_{\overline{IT}}} \quad (9)$$

$$\beta = \frac{MP_{IT}}{AP_{IT}} \quad (10)$$

2.4. Output optimization

These elements make possible further analysis and estimation of the optimal proportion of non-IT versus IT capital investment; in general economy, this is known as cost minimization ($\min_{\overline{IT}, IT} C$) under a production constraint (\bar{Q}). In our case the hospitals have obvious budgetary constraints:

$$\begin{cases} \min_{\overline{IT}, IT} C(\overline{IT}, IT) = \overline{IT} + IT + f \\ Q(\overline{IT}, IT) = A(\overline{IT})^\alpha(IT)^\beta = \bar{Q} \end{cases}$$

$$\text{optimum}_{\overline{IT}} = \left[\frac{\bar{Q}}{A(\beta/\alpha)^\beta} \right]^{1/\alpha+\beta} \quad (11)$$

$$\text{optimum}_{IT} = \left[\frac{\bar{Q}}{A(\alpha/\beta)^\alpha} \right]^{1/\alpha+\beta} \quad (12)$$

So knowing the annual budget, the production objectives and the elasticity coefficient of all the inputs it is possible to compute the best proportion of each of them from an economic point of view.

2.5. Hospital data

This study concerns 21 of the 37 Parisian university hospitals of the Assistance Publique Hôpitaux de Paris (AP-HP)

Table 1 – Sample of data from the 21 hospitals, 2006.

21 hospitals	Nb. beds	Y (°)	\overline{IT} (°)	IT (°)
AMBROISE PARÉ	468	95.96	124.3	4.124
ANTOINE BÉGLÈRE	413	103.8	125.9	3.470
AVIGENNE	530	106.7	172.9	3.727
BEAUJON	597	110.2	150.3	5.261
BICÊTRE	929	188.9	260.2	7.174
BICHAT	907	189.1	263.9	7.666
COCHIN	874	258.3	423.6	8.707
HEGP	833	194.1	251.6	11.54
HENRI MONDOR	859	206.7	331.2	10.77
HÔTEL DIEU	484	103.3	136.1	4.097
LARIBOISIÈRE	1008	152.1	225.9	6.941
MOURIER	506	71.19	141.3	3.661
NECKER	602	193.4	259.1	5.540
PITIÉ	1826	381.1	538.4	15.20
POINGARÉ	408	56.04	103.9	4.461
ROBERT DEBRÉ	423	96.26	143.7	5.481
SAINT ANTOINE	779	166.5	254.1	7.812
SAINT LOUIS	569	175.8	215.5	8.294
TENON	672	153.8	201.1	6.157
TROUSSEAU	381	81.18	160.3	3.560
VERDIER	305	71.65	97.01	3.278

(°) Y = output, \overline{IT} = non-IT capital and labor, IT = IT capital and labor in Millions of Euros.

group. The 21 hospitals were selected according to their size (more than 300 beds) and activity (acute, short and mid-term care). The data used covers the period 1998–2006, such that there are 189 complete annual observations. The careful selection of these 21 structures has been done to ensure that the studied data are homogeneous, i.e., that they are comparable and thus useful as input to the econometric model. Table 1 shows a sample of the data for the year 2006. Econometric parameters were estimated using EvIEWS 6® econometric software and the PASW17® statistical solution.

The output, Y, is the sum of all the hospital revenues from true healthcare activity (based on French diagnosis-related group (DRG) valorization at the exclusion of all other hospital incomes (research, donations, ministry of health funding, commercial activities, etc.). The IT field is constituted by the addition of the IT assets and the dedicated work force (labor). IT assets include the IT capital value and investments directly related to IT (hardware, software, maintenance, support, etc.). IT capital on year y is defined as the accumulated assets and infrastructure investments of the previous years, modulated by a depreciation factor that runs over a 5-year period accord-

ing to the AP-HP cost-accounting system [21]. IT capital does not include embedded systems such as scanners, MRI and other diagnostic systems. The IT work force, expressed in Euros, includes all the human resources appearing on the HIS teams payrolls.

The same construction was made for non-IT capital and non-IT work force. The non-IT capital was defined as the accumulated assets and property investments of the previous years, modulated by a depreciation factor depending on the nature of the investment. For example, equipment is depreciated over 5–10 years, most furniture is depreciated over a 10 years and transportation related materials are depreciated over 6 years.

3. Results

3.1. Share of factors

Table 2 presents the values of output (Y) and inputs (K, L, K_{IT} , L_{IT} , etc.) during the 9-year study period. IT inputs made up, on average, 2.64% of the total inputs over these years.

These values of input and output can be used to compute the elasticity coefficient of the production function for these hospitals.

The Solow residual is 1.022, the elasticity coefficient for the non-IT inputs (α) is 0.893, and the elasticity coefficient for the IT inputs (β) is 0.106 with a p-value far under 0.001 and R^2 and adjusted R^2 equal to 0.92 (see Table 3).

3.2. Outcome prediction

Table 4 presents the forecasting results obtained by our model. In 2006, IT inputs for the 21 hospitals were set at almost 137 million Euros, and non-IT inputs were set at 4.5 billion Euros. The elasticity coefficients obtained from the 1998 to 2005 dataset allow the computation of a theoretical output prediction for 2006 of 3.175 billions of Euros which is 0.61% above the true output for 2006 (3.156 billion Euros).

3.3. MRTS and productivity

Table 5 presents the results of the MRTS evaluation: 0.252 unit of IT is needed to maintain the production level if one unit less of non-IT input is used. Average productivity (AP) of IT is 23.57, and the additional production obtained when adding one unit of IT (marginal productivity of IT) is 2.50.

Table 2 – Input and output values over the study period (1998–2006) in Millions of Euros.

21 hospitals	Y	K	L	\overline{IT}	K_{IT}	L_{IT}	IT	$K_{IT}/(K + K_{IT})$	$L_{IT}/(L + L_{IT})$	$IT/(IT + \overline{IT})$
1998	2251	1193	2145	3339	49.34	32.75	82.10	3.97%	1.50%	2.40%
1999	2332	1251	2199	3450	55.64	34.02	89.67	4.26%	1.52%	2.53%
2000	2419	1321	2294	3616	61.64	33.37	95.01	4.46%	1.43%	2.56%
2001	2543	1412	2369	3781	67.69	36.97	104.6	4.57%	1.54%	2.69%
2002	2714	1480	2490	3970	69.38	32.74	102.1	4.48%	1.30%	2.51%
2003	2876	1530	2622	4153	80.61	23.71	104.3	5.00%	0.90%	2.45%
2004	3159	1642	2665	4308	96.82	29.72	126.5	5.57%	1.10%	2.85%
2005	3125	1698	2810	4508	105.9	24.92	130.8	5.87%	0.88%	2.82%
2006	3156	1702	2878	4581	111.0	25.91	136.9	6.12%	0.89%	2.90%

Table 3 – Computation results for elasticity coefficients (A: Solow residual, α : non-IT (\overline{IT}) elasticity coefficient, β : IT elasticity coefficient).

	Value	p	t-Statistic	Std. error
A	1.022	<0.001	9.289	0.110
α	0.893	<0.001	30.63	0.029
β	0.106	<0.001	30.63	0.029
R^2	0.92		Adjusted R^2	0.92

Table 4 – Predicting 2006 values from 1998–2005 data (\overline{IT} : non-information technology input, IT: information technology input, Y: output, B€: billion Euros).

\overline{IT} 2006 value (B€)	4.581
IT 2006 value (B€)	0.136
Y 2006 value (B€)	3.156
Y predicted with 1998–2005 dataset (B€)	3.175
Prediction difference	+0.61%

Table 5 – Marginal rate of technical substitution and productivity results (MRTS: marginal rate of technical substitution, AP: average productivity, MP: marginal productivity).

	Value (2006)
MRTS (\overline{IT}/IT)	0.252
AP (\overline{IT})	0.704
AP (IT)	23.57
MP (\overline{IT})	0.629
MP (IT)	2.500

Table 6 – IT versus non-IT inputs optimization results.

	2006 values (B€)	Optimal values (B€)
Y	3.156	3.156
\overline{IT}	4.581	3.870
IT	0.136	0.459
$\overline{IT} + IT$	4.718	4.329
Economy	–	0.388

3.4. Optimum input distribution

Table 6 presents the results obtained using the cost optimization technique. The real output is taken as the optimal value to achieve in any case. Based on the elasticity coefficient, the marginal productivity and the results of optimization formulae, the optimal value of non-IT inputs appears to be 3.870 billion Euros (15.5% lower than the 4.581 billion Euros observed). The optimal value of IT inputs could be multiplied by 3.35 from 137 million Euros to almost 459 million, which is 10.6% of total input for the 21 hospitals in 2006.

Adding these two new values gives a theoretical input of 4.32 billion Euros, which is 388 million Euros less than the observed total input for 2006.

4. Discussion and conclusion

Our analysis using an overall approach reveals a highly significant correlation between IT inputs, non-IT inputs and the output, consistent with the findings of several industry studies including healthcare [5]. The elasticity coefficient of IT investment is 0.106 which highlights the importance of IT

in an homogeneous group of hospital production. Another issue addressed by our study was the prediction of next year's outcome for the hospitals considered. The computed model approach seems to have good forecast abilities. The 2006 forecast based on the analysis of data for the years 1998–2005 predicted an income only 0.61% higher than what was achieved that year in reality. Confirming the importance of IT, our results also suggest that IT has a major average productivity of 23.57 and a marginal productivity of 2.5. In the model we developed, one additional Euro invested in IT returns 2.5 Euros. When analyzed with the results of the MRTS (0.251) these findings indicate that IT inputs are currently far too low in comparison to non-IT spending. Finally, we were able to compute the appropriate proportion of IT inputs versus non-IT inputs using our formulae. The results indicate that the AP-HP hospitals studied could achieve the same output by decreasing non-IT inputs by 15.5% and by multiplying IT inputs 3.4 times; this moreover is expected to lead to an 8.2% economy in overall input (i.e., 388 millions of Euros).

There are however possible limitations to this approach. First, the AP-HP University hospitals selected do not represent all aspects of hospital activity. Size (number of beds) also will have to be taken into account and may lead to computations involving investment-per-bed-ratios. Secondly, the time period we had at our disposal is relatively short from an econometric perspective. This was partly a consequence of the recent introduction of HIS into the AP-HP group. Nevertheless, our results are statistically relevant but a longer period of study would improve the quality of our model. The accounting methods used to evaluate output within the AP-HP group are subject to regular changes. Consequently, short period studies are appropriate to minimize the influence of these changes and also to avoid the need to adjust prices for inflation [21]. Thirdly, the very nature of our choices when constructing our variables needs to be considered. The boundary between what is IT and what is not can be ill-defined. A new PET-Scanner (and related imaging devices like MRI and traditional scanners) could be classified as part of the IT stock, considering the apparatus as merely a new networked image producing device, especially in hospital with substantial IT structuring and integration. Professionals working with these devices could also be re-classified from non-IT labor to IT labor. Further studies incorporating this conceptual issue are required. We also choose to assume the constant return to scale of the inputs in this work; more work could be done assuming an inconstant elasticity of substitution.

In this spirit, the variable Y reflects only the cash flow generated by clinical activity (DRG), and other cash incomes could also have been included, for example hospital subsidies, private donations, and French Ministry of Health valorization for research or specific expensive general interest clinical activities (MERRI & MIGAC in the French system).

Conventional financial or economic approaches do not integrate the less intangible impacts of IT inputs such as improvements in quality, potential increased employee productivity and greater customer satisfaction [11,12]. They also have the hazardous tendency to underestimate some IT capital “real world” aspects. An example is the frequent underestimation of IT capital because hardware and software are frequently used past their accounting depreciation life, and

this affects the results of studies in which the IT hardware value is aggregated.

IT inputs may be correlated with improvement in quality of care [4,14,22,36–38]. Such observation constitute a good argument to convince CEOs to invest in IT and therefore in quality. Further work on the consequences of IT investment on quality of care could be conducted using quality markers and econometric correlations to detect the level of quality return-on-investment that could be expected.

Our results suggest that it would be beneficial to increase IT inputs from the current 2.99% to 10.61% of all inputs. However, this finding must be interpreted with great caution because 10% is far above the observed set of input values, and Thomas Malthus' law of diminishing returns – stating that each additional unit of variable input yields less and less output – applies to this domain. As IT input increases, the output will also increase but presumably at a decreasing rate. So, the more a hospital invests in IT, the less the marginal productivity of IT is expected to be until it reaches zero: this point will indicate the real optimized percentage of IT inputs to attain. It will have to be computed in future work, but the evidence is still clear that IT inputs are far too low in the 21 hospitals we studied. Note that current IT inputs in finance, banking and the tertiary sector more generally can be up to 16% of capital stock [39]; no hospital in the dataset is in this range so IT inputs of this magnitude cannot be assessed in this context.

Previous studies have given prominence to the lag between the time at which IT inputs are made and the first benefits obtained [14,15,22]. This point is particularly relevant for return on input studies (using cost-benefit analysis or net present value) because they focus on the IT project they intend to evaluate. In our econometric approach, this time lag is taken into account in a global IT portfolio perspective because the approach covers previous inputs and cumulative depreciation of each variable component on a 5–10 years period.

Various directions need to be explored for further analysis. This work could be extended to different sets of hospitals in France and also in other countries with different levels of IT investments (see above). Further studies should include non-acute hospitals, psychiatric hospitals, army hospitals, medium- and long-term-care hospitals, etc. Private and semi-private institutions should also be involved, especially because a greater IT influence has been observed within private structures [22]. The social and organizational impacts of a new investments distribution policy should also be taken into account, especially if, over a certain a period of time, increasing IT inputs could cause a decrease in non-IT inputs and in particular non-IT labor.

Evidence of the benefits of IT to hospitals is still limited. This work indicates the substantial positive effects of IT inputs on hospital production. Considering IT inputs (assets and labor) from a portfolio perspective could lead to the utilization of a constructed econometric dynamic simulation model based on a production function to predict the output that the hospital management could expect from their present investment policy. The portfolio approach merges the appreciation of the two roles that IT can play in a hospital: the production technology enhancing role and the coordination technology enhancing role [40]. Once understood, the model is not difficult to build and use, relatively inexpensive, not excessively time

Summary points

“What was already known on the topic”

- HIT investments add value to the hospital production.
- Traditional ROI methods doesn't give sufficient incentives of the IT production results.
- Econometric methods can be used to assess the added value of HIT.

“What this study added to our knowledge”

- Econometrics can be used to forecast hospitals production.
- Econometrics allow the computation of the optimal amount of HIT investments.

consuming, and has the advantage over many other accounting models of not being based on assumptions [5]. It also takes into account frequently neglected costs when implementing HIS, like the loss of productivity and the cost of organizational changes and redesigning workflows [40–42]. The model is also a reflection of the interactions with external systems (other healthcare organizations, suppliers, consumers and regulatory systems) also known as spillover effect [40].

Applying economic principles on the basis of this econometric model could lead to the computation of the best IT versus non-IT ratio for investments in the hospitals. This could rationalize the choices by IT managers and hospital managers for better IT governance in healthcare. Our study also suggests that the implementation of the computed recommendations may stimulate the adoption of HIT projects and provide substantial savings that could be invested in various other projects aiming to improve efficiency, quality and safety of care.

Authors contribution

Rodolphe Meyer: conception and design of the study, acquisition of data, analysis and interpretation of data, writing of the article.

Patrice Degoulet: conception and design of the study, revising the article critically for important intellectual content, final approval of the version to be submitted.

REFERENCES

- [1] P. Arlotto, J. Oakes, Return on Investment: Maximizing the Value of Healthcare Information Technology, HIMMS, Chicago, USA, 2003, pp. 3–57.
- [2] D. Blumenthal, Stimulating the adoption of health information technology, *N. Engl. J. Med.* 360 (15) (2009) 1047–1049.
- [3] K.A. Stroetmann, T. Jones, A. Dobrev, et al., eHealth is Worth it: The Economic Benefits of Implemented eHealth Solutions at ten European Sites, Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg, 2006, pp. 13–30.

- [4] P.G. Shekelle, S.C. Morton, E.B. Keeler, Costs and Benefits of Health Information Technology, Prepared by the Southern California Evidence-based Practice Center under Contract No. 290-02-0003, Agency for Healthcare Research and Quality, Rockville, MD, AHRQ Publication, April 2006 (Evidence Report/Technology Assessment No. 132. No. 06-E006).
- [5] R. Meyer, P. Degoulet, Assessing the capital efficiency of healthcare information technologies investments: an econometric perspective, *IMIA Yearbook* 3 (2008) 114–127.
- [6] R. Kaushal, A.K. Jha, C. Franz, et al., Return on investment for a computerized physician order entry system, *J. Am. Med. Inform. Assoc.* 13 (3) (2006) 365–367.
- [7] M. Betts, A CIO's guide to the strengths and weaknesses of ROI calculations. (Accessed September 18, 2009, at http://www.computerworld.com/specialreport/000/000/100/specialreport.000000180.primary_article.jsp).
- [8] R.A. McLean, Cost-volume-profit and net present value analysis of health information systems, *Top Health Inf. Manage* 19 (1) (1998) 39–47.
- [9] J.G. Kaplan, The net present value of investments in health, *Med. Interface* 9 (11) (1996) 94–96.
- [10] M.C. Rendina, A net present value analysis of neonatal telecardiology, *Telemed. Today* 8 (2) (2000) 23–25.
- [11] V. Grover, S.R. Jeong, A.H. Segars, Information system effectiveness: the construct pace and patterns of application, *Inform. Manage.* 31 (4) (1996) 117–191.
- [12] T. Pekka, S. Hannu, The Economic evaluation of Medical Information Systems. s.l.: TUCS Center for Computer Science, September 1998; TUCS technical report 195.
- [13] R.M. Gardner, R.K. Hulse, K.G. Larsen, Assessing the effectiveness of a computerized pharmacy system, in: *Symposium on Computer Applications in Medical Care*, 14, 1990, pp. 668–672.
- [14] N. Menachemi, C. Saunders, A. Chukmaitov, et al., Hospital quality of care: does information technology matter? The relationship between information technology adoption and quality of care, *Health Care Manage Rev.* 33 (1) (2008) 51–59.
- [15] N. Menachemi, R.G. Brooks, Exploring the Return on Investment Associated With Health Information Technologies, Florida State University College of Medicine: Center for Patient Safety, 2005, pp. 15–45.
- [16] S. Barlow, J. Johnson, J. Steck, The economic effect of implementing an EMR in an outpatient clinical setting, *J. Healthc. Inf. Manag.* 18 (1) (2004) 46–51.
- [17] J. Cooper, Organization management, Implementation and value of EHR implementation in a Solo pediatric practice, *J. Healthc. Inf. Manag.* 18 (3) (2004) 51–55.
- [18] S.J. Wang, B. Middleton, L.A. Prosser, C.G. Bardon, P.J. Carchidi, A.F. Kittler, et al., A cost-benefit analysis of electronic medical records in primary care, *Am. J. Med.* 114 (5) (2003) 397–403.
- [19] M. Nuria, S. Janice, Is managed care restraining the adoption of technology by hospitals? *J. Health Econ.* 27 (2008) 1026–1045.
- [20] C.M. Christensen, S.P. Kaufman, W.C. Shih, Innovation killers: how financial tools destroy your capacity to do new things, *Harvard Bus. Rev.* 86 (1) (2008) 98–105.
- [21] R. Meyer, P. Degoulet, L. Omnes, Impact of Health Care Information Technology on Hospital Productivity Growth: a Survey in 17 Acute University Hospitals, *Medinfo* 12 (1) (2007) 203–207.
- [22] N. Beard, K. Elo, L.M. Hitt, M.G. Housman, G. Mansfield, Information technology and hospital performance: an econometric analysis of costs and quality, 2007, 6–41. (Accessed September 18, 2009, at <http://www.pwc.com/healthcare>).
- [23] D.A.J. Axson, The New ROI, Measure the kind of ROI that the board of directors can understand. (Accessed September 18, 2009, at <http://www.computerworld.com/printthis/2003/0,4814,78559,00.html>).
- [24] T. Hoffman, Where ROI Models Fail (Accessed September 18, 2009, at <http://www.computerworld.com/managementtopics/roi/story/0,10801,78541,00.html>).
- [25] W. Greene, *Econometric Analysis*, Pearson Education Inc., Upper Saddle River, NJ, 2003, pp. 101–133.
- [26] D. Gujarati, *Basic Econometrics*, McGraw-Hill Higher Education, Columbus, 2003, pp. 227–234.
- [27] R.O. Brinkerhoff, D.E. Dressler, *Productivity Measurement: A Guide for Managers and Evaluators*, Sage, Newbury Park, CA, 1990, pp. 16.
- [28] S.L. Baier, G.P. Dwyer, R. Tamura, How Important Are Capital and Total Factor Productivity for Economic Growth? Federal Reserve Bank of Atlanta Working Paper No. 2005, 2005, p. 2.
- [29] R.J. Barro, Notes on Growth Accounting, National Bureau of Economic Research, 1998, Working Paper No. W6654.
- [30] P.M. Romer, The origins of endogenous growth, *J. Econ. Perspect.* 8 (1) (1994) 3–22.
- [31] C.W. Cobb, P.H. Douglas, A theory of production, *Am. Econ. Rev.* 18 (1) (1928) 139–165.
- [32] R.M. Solow, A contribution to the theory of economic growth, *The Quart. J. Econ.* LXX (1956) 65–94.
- [33] D. Stadelmann, *Fonction de production—illustration des propriétés pour l'analyse économique*, Séminaire de l'université de Fribourg, Fribourg, 2003–2004.
- [34] F. Aprahamian, *Microéconomie*, Bréal, Rosny France, 2007, pp. 99–136.
- [35] R.G. Hubbard, A.P. O'Brien, *Economics*, Pearson Education Inc., Upper Saddle River, 2008, pp. 335–366.
- [36] E. Ammenwerth, J. Talmon, J.S. Ash, et al., Impact of CPOE on mortality rates—contradictory findings, important messages, *Methods Inf. Med.* 45 (2006) 586–594.
- [37] R. Haux, Health information systems—past, present, future, *Int. J. Med. Inform.* 75 (2006) 268–281.
- [38] R. Amarasingham, L. Plantinga, M. Diener-West, et al., Clinical information technologies and inpatient outcomes, a multiple hospitals study, *Arch. Intern. Med.* 169 (2) (2009) 108–114.
- [39] S. Yoshishito, Increased labor productivity and IT investments in the United States, *Bank Jpn. Monthly Bull.* (2000) 6–45, February.
- [40] J. Dedrick, V. Gurbaxani, K. Kraemer, Information technology and economic performance: a critical review of the empirical evidence, *ACM Comput. Surv.* 35 (1) (2003) 1–28.
- [41] A. Basu, W.G. Manning, Issues for the next generation of health care cost analyses, *Med. Care* 47 (2009) S109–S114.
- [42] J. Mulhally, Econometric modeling of health care costs and expenditures: a survey of analytical issues and related policy considerations, *Med. Care* 47 (2009) S104–S108.

5 Discussion et perspectives

En complément des différentes discussions et perspectives évoquées dans les articles présentés, nous pouvons ajouter que, malgré une littérature présentant des résultats encourageants, plus de recherche est nécessaire pour comprendre la relation entre investissements Tic et résultats financiers d'un point de vue macro-économique. Tout d'abord, des études devront préciser la durée de la période de décalage existant entre la première année de l'investissement et le seuil de rentabilité. Certaines études rapportent un délai de cinq ans ou plus [Kaushal 2006], d'autres ont mesuré deux ans de décalage [Beard 2007], tandis que certains rapportent un retour sur investissement positif la même année que celle du déploiement [Menachemi 2005]. Selon notre expérience, il faut environ deux à trois ans pour déployer un système d'information hospitalier et encore plus de temps (un ou deux ans) pour qu'il puisse prétendre avoir atteint ses objectifs d'alignement. Les futures études économétriques devraient intégrer ce décalage temporel dans leurs calculs.

Dans les différents travaux économétriques, les variables Tic prises en compte ont été construites d'une manière qui peut être discutée. La plupart des études ont agrégé le Capital Tic avec le travail Tic. C'est une approche intéressante, mais la granularité des variables étudiées pourrait être élargie. L'examen de l'influence du travail Tic et du capital Tic pourrait être fait séparément ou en subdivisant le travail, en travail Tic, médical et non médical, afin d'examiner plus en détail l'influence positive ou négative des investissements dans chacune de ces dimensions. Les propriétés mathématiques de la fonction de production permettent ces extensions.

La notion même de capital Tic pourrait être discutée. En effet, dans un hôpital possédant un très haut niveau d'intégration, le capital utilisé pour acheter un nouveau PET-Scan pourrait être assigné aux Tic, compte tenu que l'appareil pourrait être envisagé comme un nouveau dispositif de production d'images en réseau, situation qui serait moins pertinente dans un hôpital avec un faible niveau d'intégration Tic. Cette spécification plus détaillée des variables serait un premier pas vers une meilleure compréhension de la complexité des relations qui peuvent exister entre les variables au moment de l'investissement. En outre, les avantages associés aux Tic semblent être plus élevés lorsqu'ils sont accompagnés d'une refonte cohérente des processus cliniques. Les effets de ces processus de refonte seraient

intéressants à comparer entre des structures dont la politique à ce niveau aurait été différente [Arlotto 2003] [Beard 2007] [Holland 2007].

L'optimum de 10,6% d'investissements Tic trouvé par le modèle économétrique sur les données de l'AP-HP est peut-être surestimé si l'on accepte que la loi des rendements décroissants s'applique au secteur de la santé comme aux autres secteurs de l'économie. Ce chiffre est cependant largement supérieur aux chiffres constatés en France (1 à 2%) ou aux Etats-Unis (4 à 7%) et peut se comparer à ceux observés dans des secteurs forts dépendant des Tic comme la banque ou l'assurance (jusqu'à 16%) [Yoshishito - 2000]. Par ailleurs, la mutualisation des forts investissements de l'AP-HP dans le domaine des Tic, depuis 2009, ne nous permettra pas de poursuivre cette étude dans les conditions initiales. Nous pourrions toutefois affiner les informations extractibles de ces données en utilisant d'autres techniques comme celle relevant de l'économétrie non paramétrique, par exemple. Cette manière de procéder est classique dans le domaine [Hitt 1996] [Hitt 1999] [Shao 2000] [Shao 2001].

L'identification correcte des hôpitaux est également un point à développer. Les études ne peuvent plus se permettre d'agréger des centres hospitaliers à but lucratif et à but non lucratif. A l'intérieur de chacun de ces deux groupes, il est également important de déterminer quelles catégories de structure poursuivent les mêmes objectifs de soins. Les meilleurs résultats de mesure de rentabilité de projets Tic calculés dans des institutions étrangères envisagées individuellement ne peuvent pas fournir le niveau suffisant de confiance nécessaire aux investisseurs pour souscrire localement à un projet Tic ambitieux. Des cohortes bien construites seront indispensables. Sur cette base l'extension des études, principalement faites aux États-Unis actuellement, devrait être faite dans d'autres pays concernés par le même niveau de Tic afin de fournir des données qui prennent en considération les spécificités des différents systèmes de santé nationaux.

Une piste de travail est en cours de développement, par nos soins, autour de la création d'un observatoire européen consacré à la création d'une base de données intégrant différents angles d'observation Tic dans les hôpitaux afin de pouvoir proposer une photographie multidimensionnelle du niveau des Tic et de leur influence dans la production hospitalière. Le tableau 5 donne une liste des paramètres qui nous semblent nécessaires à récolter dans ce cadre d'analyse multicentrique.

Tableau 5 - Données à récolter dans le cadre d'un observatoire européen

DOMAINE D'ÉTUDE	MÉTRIQUES
Statistiques de l'hôpital	Métriques d'activités Métriques financières Métriques RH
Statistiques du SI	Valeur du capital et détail Investissements par domaines Répartition RH
Statistiques du secteur de soins	Valeur du capital et détail Investissements par spécialités Répartition RH
Parc logiciel et niveaux de déploiement	Bloc-op, Urgences, Réa Dossier patient Dossier infirmier Gestion RH SI financier Gestion de l'information et archivage Laboratoires et Pharmacie Radiologie & PACS Logistique Télémédecine Sécurité et gestion du risque Académique
Divers	Règles de comptabilité analytiques Taux d'inflation

L'absence, en France (et en Europe), d'un observatoire des SIH et de leur état de déploiement et d'utilisation, tel que le « HIMMS Analytics » [HIMMS 2010], représente un obstacle majeur à toute stratégie de gouvernance informatique dans le secteur de la santé. Au niveau des hôpitaux, elle ne permet pas aux décideurs de se situer en termes de « maturité informatique » par rapport à des hôpitaux de même nature ou situation géographique. Au niveau des industriels, elle ne permet pas aux acteurs d'évaluer l'évolution de leur offre dans une situation de globalisation du marché. À l'échelon national, elle ne

permet pas d'évaluer les effets des différents plans de relance économique et d'accélération des investissements en Tic dans la santé, tel que l'ARRA aux États-Unis [Blumenthal 2009].

Nous avons essayé de montrer que, contrairement à ce que l'on voit encore écrit trop souvent, les études factuelles qui tendent à démontrer la valeur ajoutée des Tic ne sont plus rares. La majorité des contributions montrent des résultats positifs provenant des diverses implémentations de Tic, même si les questions théoriques et méthodologiques demeurent [Arlotto 2003] [Anthes 2003] [Beard 2007] [Christensen 2008] [Menachemi 2006] [Schulman 2006]. Les technologies de l'information sont un mélange composite de matériels, de logiciels, de connaissances, de niveau d'intégration, d'appui opérationnel et d'infrastructures. Trop d'études analysent l'impact de projets Tic unique sur une période où il a été démontré que le véritable retour sur investissement ne peut se mesurer qu'en envisageant le projet d'un point de vue global (type portfolio) [Beard 2007] [Meyer 2007]. Ce faisant, ces hôpitaux investissent beaucoup de temps et d'efforts dans des processus de mesure pour tenter de suivre les rendements de leurs investissements. Certains commencent maintenant à s'interroger sur la valeur d'un tel effort. Dans de nombreux cas, les technologies de l'information sont si inextricablement liées avec les processus et les personnels que l'identification des bénéfices d'une technologie spécifique ne rendra compte que des bénéfices marginaux. En outre, les méthodologies financières utilisées par les experts ne se sont pas encore révélées posséder une grande précision et un grand nombre des méthodes utilisées renferment des approximations inhérentes et des postulats économiques qui soulèvent parfois plus de questions que de réponses [Arlotto 2003] [Christensen 2008] [Hoffman 2008] [Pekka 1997] [Philips 2004] [Ulfelder 2008] [Van der Loo 1995]. La productivité est sans doute, et c'est discutable, la plus importante statistique économique. Son corollaire, le retour sur investissement, produit l'étalon sur lequel chaque décision d'investissement futur sera décidé, d'où l'importance de trouver des résultats les plus proches de la réalité de terrain.

Pour poursuivre cet objectif, ce travail suggère que de nouvelles approches économiques, dérivées de considérations macroéconomiques, et sur la base d'outils économétriques, pourraient s'avérer plus fiables dans l'évaluation de la valeur réelle du retour sur investissement des Tic et en particulier dans le domaine de la santé [Beard 2007] [Menon 2000] [Meyer 2007] [Meyer 2010] [Osei-Brison 2004].

Une autre notion en faveur de la nécessité d'utiliser des outils macro-économiques, réside dans le fait que, lorsque l'on utilise des outils financiers, les experts comparent toujours les investissements potentiels aux situations possibles si l'on ne faisait rien (aucun investissement). C'est une erreur commune que l'on peut qualifier de *méprise entropique*. En effet, le fait de ne pas investir ne garantit aucunement que le système considéré reste tel qu'il est au moment de la prise de décision. Rien n'est moins sûr. Lorsque l'on compare un scénario « *go* » avec un scénario « *no go* », il faudrait calculer l'augmentation de l'entropie de la situation « *no go* » pour avoir une vraie vision de l'écart entre les deux. Et pour aller encore plus loin, la situation d'un hôpital pourrait être pire qu'avant, après avoir fait un investissement, mais meilleure que celle qu'il aurait connu s'il n'avait rien fait [Menachemi 2006]. Garder cette dimension à l'esprit lors des discussions sur la pertinence de tel ou tel investissement, pourrait faire économiser du temps et de l'argent, et aussi faire percevoir que les choix ne peuvent se faire uniquement sur des critères de rentabilité positive comptable [Beard 2007].

Dans les économies avancées, les Tic sont une source prometteuse de croissance de la productivité, mais elles n'auront que peu de contribution directe sur la performance globale d'un hôpital si elles ne sont pas combinées avec des investissements complémentaires dans le capital humain, les pratiques de travail, et certaines restructurations organisationnelles [Amarasingham 2009] [Bleom 2006] [Brynjolfsson 2003]. L'évaluation de l'impact des Tic dans les hôpitaux doit franchir une étape et prendre en compte la totalité des « inputs » avec la globalité des « outputs », quelle que soit la source de chacun d'eux. Les variables contextuelles sont des facteurs importants à considérer dans la détermination de l'impact des investissements Tic sur la performance organisationnelle [Hoogeveen 2002] [Li 1999] [Soh 1993] [Soh 1995] [Teo 2000], mais peuvent rester très difficile à quantifier financièrement, altérant potentiellement toutes les analyses qui cherchent l'exhaustivité. Seule une analyse du niveau de celle de l'alignement stratégique peut être pertinente dans les cas concrets, surtout depuis que nous avons identifié que les analyses quantitatives basées sur la fonction de production possèdent le niveau de rigueur nécessaire [Barua 2000] [Basu 2009] [Kumbhakar 2006] [Mulhally 2009]. Dans un contexte général d'incitations aux économies et à la durabilité, on peut dire que le monde de la santé se déplace progressivement de la médecine factuelle à la médecine fructueuse (ou du moins rentable à l'aide de preuves de rapport coût-efficacité élevé) [Blumenthal 2009] [Hill 2009] [Himmelstein 2010] [Maynard 2000]. Cette évolution sera d'autant moins sujette à critique que les gains de productivité seront

réinvestis partiellement ou totalement dans l'alignement clinique et la qualité. L'analyse économétrique ne cherche pas à devenir une «théorie unifiée» de l'analyse des Tic mais nous pensons que les outils économétriques donneront des renseignements utiles pour relever le niveau de la gouvernance des Tic dans les hôpitaux et faciliter les réinvestissements avec un constant objectif de gains tout simplement orientés vers le patient.

6 Bibliographie

- [Alpar - 1990] Alpar P, Kim M. A Comparison of Approaches to the Measurement of IT Value. In *Proceedings of the Twenty-Second Hawaii International Conference on System Science*. 1990.
- [Amarasingham - 2009] Amarasingham R, Plantinga L, Diener-West M, et al. Clinical Information Technologies and Inpatient Outcomes, a Multiple Hospitals Study. *Arch Intern Med* 2009; 169(2): 108-114.
- [Ammenwerth - 2006] Ammenwerth E, Talmon J, Ash JS, et al. Impact of CPOE on Mortality Rates – Contradictory Findings, Important Messages. *Methods Inf Med* 2006; 45: 586-94.
- [Anthes - 2003] Anthes G. *Computer World special report* [en ligne]. 2003, [réf. du 30 avril 2010]. Disponible sur : http://www.computerworld.com/special_report/000/000/100/special_report_000000180_primary_article.jsp.
- [AP-HP - 2006] AP-HP. *Guide de la comptabilité analytique*. Paris: direction économique et financière - département contrôle de gestion - service analyse de gestion; 2006.
- [Aprahamian - 2007] Aprahamian F, Bertrand A, Besancenot D, et al. *Microéconomie* Rosny: Bréal; 2007.
- [Arlotto - 2003] Arlotto P, Oakes J. *Return on investment: maximizing the value of healthcare information technology*. Chicago, USA: HIMMS, 2003: 3-57.
- [Attewell - 1994] Attewell P. *Organizational Linkages: Understanding the Productivity Paradox*. Washington: National Academic Press, 1994: 13-53.
- [Axson - 2003] Axson DAJ. *The New ROI. Measure the kind of ROI that the board of directors can understand*, [en ligne]. 2003, [réf. du 30 avril 2010]. Disponible sur : <http://www.computerworld.com/printthis/2003/0,4814,78559,00.html>
- [Baier - 2005] Baier SL, Dwyer GP, Tamura R. *How Important Are Capital and Total Factor Productivity for Economic Growth?* Federal Reserve Bank of Atlanta Working Paper No. 2002-02, Mars 2005.
- [Barlow - 2005] Barlow S, Johnson J, Steck J. The economic effect of implementing an EMR in an outpatient clinical setting. *J Healthc Inf Manag* 2004; 18(1): 46-51.
- [Barro - 1998] Barro RJ. *Notes on Growth Accounting. National Bureau of Economic Research*. Working Paper No. W6654; 1998.
- [Barua - 1991] Barua A, Kriebel C, Mukhopadhyay T. Information Technology and Business Value: An Analytic and Empirical Investigation. *University of Texas at Austin Working Paper*. Mai 1991.
- [Barua - 2000] Barua A, Mukhopadhyay T. Information technologies and business performance: past, present, and future, in: Zmud R. *Framing the Domains of IT Management Projecting the Future through the Past*. Cincinnati: Pinnaflex Education Resources, Inc, 2000.
- [Basu - 2009] Basu A, Manning WG. Issues for the next generation of health care cost analyses. *Med Care* 2009; 47: S109–S114.
- [Beard - 2007] Beard N, Elo K, Hitt LM, Housman MG, Mansfield G. *Information technology and hospital performance: An econometric analysis of*

- costs and quality* [En ligne]. PricewaterhouseCoopers 2007, [réf. du 30 avril 2010]. Disponible sur : <http://www.pwc.com/healthcare>
- [Berndt - 1995]** Berndt ER, Morrison CJ. High-Tech Capital Formation and Economic Performance in U.S. Manufacturing Industries: An Exploratory Analysis. *Journal of Econometrics*. 1995; 65(1): 9-43.
- [Bernier - 2001]** Bernier B, Simon Y. *Initiation à la macroéconomie*. Dunod: Paris, 2001: 507-47.
- [Beta - 2010]** Beta Group [En ligne]. 2010, [réf. du 30 avril 2010]. Disponible sur : <http://www.the-beta-group.com>
- [Betts - 2009]** Betts M. *A CIO's guide to the strengths and weaknesses of ROI calculations* [En ligne]. 2009, [réf. du 30 avril 2010]. Disponible sur : http://www.computerworld.com/special_report/000/000/100/special_report_000000180_primary_article.jsp
- [Bharadwaj - 2000]** Bharadwaj A. A resource-based perspective on information technology capability and firm performance: an empirical investigation. *MIS Quarterly*. 2000; 24(1): 169-196.
- [Bleom - 2006]** Bleom J, VanDoorn M, Mittal P. *Making IT governance work in a Sarbanes-Oxley world*. Oboken : Willey & Sons Inc, 2006 : 46-90, 153-157.
- [Blumenthal - 2009]** Blumenthal D. Stimulating the Adoption of Health Information Technology, *N Engl J Med*, 2009; 360(15): 1047-9.
- [Boles - 1996]** Boles K, Fleming S. Breakeven under capitation: pure and simple? *Health Care*. 1996; 21(1): 38-47.
- [Brennan - 2006]** Brennan A, Chick S, Davies R. A taxonomy of model structures for economic evaluation of health technologies. *Health Econ*. 2006; 15: 1295-1310.
- [Bresnahan - 2002]** Bresnahan TF, Brynjolfsson E, Hitt LM. Information technology, Workplace Organization, and the demand for skilled labor: Firm-level evidence. *The Quarterly Journal of Economics*, 2002; 117(1): 339-376.
- [Brinkerhoff - 1990]** Brinkerhoff RO, Dressler DE. *Productivity measurement: a guide for managers and evaluators*, Newbury Park (Calif.): Sage. 1990; 16.
- [Brown - 1967]** Brown M. *The Theory and Empirical Analysis of Production*. New York: Columbia University Press; 1967.
- [Brynjolfsson -1991]** Brynjolfsson E. *The productivity paradox of information technology: Review and assessment*. MIT Sloan school papers, decembre 1991.
- [Brynjolfsson -1993]** Brynjolfsson E. The Productivity Paradox of Information Technology, *Communication of ACM*, 1993; 36: 67-77.
- [Brynjolfsson - 1996]** Brynjolfsson E, Hitt LM. Paradox lost: Firm level evidence on returns to information systems spending. *Management Science*. 1996; 42: 541-558.
- [Brynjolfsson -2003]** Brynjolfsson E. The IT Productivity GAP. *Optimize*. 2003.
- [Burke - 2002]** Burke D, Wang B, Wan T, Diana M. Exploring Hospitals' Adoption of Information Technology. *Journal of Medical Systems*. 2002; 26(4): 349-55.
- [Cap - 2010]** Cap Gemini [En ligne]. 2010, [réf. du 30 avril 2010]. Disponible sur : http://www.nl.capgemini.com/resources/case_studies/swedish_hospital
- [Christensen - 2008]** Christensen CM, Kaufman SP, Shih WC. Innovation Killers: How Financial Tools Destroy Your Capacity to Do New Things. *Harvard*

- Business Review*. 2008; 6(1): 98-105.
- [Cobb - 1928] Cobb CW, Douglas PH. A Theory of Production. *American Economic Review*, 1928; 18(1): 139-65.
- [Cooper - 2004] Cooper J. Organization, Management, Implementation and Value of EHR Implementation in a Solo Pediatric Practice. *J of Healthcare Info Manag* 2004; 18(3): 51-55.
- [Dedrick - 2003] Dedrick J, Gurbaxani V, Kraemer K. Information technology and economic performance: a critical review of the empirical evidence. *ACM Computing Surveys* 2003; 35(1): 1-28.
- [Delone - 1992] Delone WH, McLean ER. Information Systems Success: The Quest for Dependent Variable. *Information Systems Research*. 1992; 3(1): 60-95.
- [Dewan - 1997] Dewan S, Min CK. The substitution of information technology for other factors of production: a firm level analysis. *Management Science*. 1997; 43(12): 1660-1675.
- [Eubank - 1987] Eubank R. *Spline Smoothing and Nonparametric Regression*, Marcel. New York: Marcel Dekker Inc, 1987.
- [Fahy - 2004] Fahy M, Roche J, Weiner A. *Beyond governance: creating corporate value through performance, conformance and responsibility*. Willey & Sons Ltd, Chichester England, 2004: 131-61.
- [Featherly - 2006] Featherly K, Garets D, Davis M, Wise P, Becker P. Sharpening the Case for Returns on Investment from Clinical Information Systems. *Electronic Healthcare*. 2006; 5(3): 101-110.
- [Forrester - 2010] Forrester Group [En ligne]. 2010, [réf. du 30 avril 2010]. Disponible sur: <http://www.forrester.com/rb/research>
- [Frist - 2004] Frist B, Clinton H. How to Heal Health Care. *Washington Post*. Wednesday, August 25, 2004; Page A17. Disponible sur: <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/articles/A30277-2004Aug24.html>
- [Gapenski - 1992] Gapenski LC. Accuracy of investment risk models varies. *Healthc Financ Manage*. 1992; 46(4): 40-44.
- [Gapenski - 2005] Gapenski LC. *Healthcare Finance: an introduction to accounting and financial management*, Health Administration Press Chicago, 2005: 95.
- [Gardner - 1990] Gardner RM, Hulse RK, Larsen KG. Assessing the effectiveness of a computerized pharmacy system. *Symposium on Computer Applications in Medical Care* 1990; 14: 668-672.
- [Garg - 2005] Garg AX et al. Effects of Computerized clinical decision support systems on practitioners performance and patient outcomes: a systematic review. *JAMA* 2005; 293: 1223-38.
- [Gartner - 2005] Gartner Group [En ligne]. 2010, [réf. du 30 avril 2010]. Disponible sur: <http://www.gartner.com>
- [Georgel - 2005] Georgel F. *IT gouvernance: maîtrise d'un système d'information*. Dunod, Paris, 2005: 95-105.
- [Gera - 1999] Gera S, Gu W, Lee F. Information technology and labour productivity growth: An empirical analysis for Canada and the United States. *Canadian Journal of Economics*. 1999; 32: 384-407.
- [Greenan - 1996] Greenan N, Mairesse J. Computers and productivity in France: Some evidence. *NBER Working Paper No. 5836*. 1996; November.
- [Greene - 2005] Greene W. *Économétrie*, Pearson éducation, France, 2005: 7-10,19-

- 38, 484-487.
- [Grosskopf - 1987] Grosskopf S, Valdmanis V. Measuring Hospital performance: a non-parametric approach. *Journal of Health Economics*. 1987; 6 :87-109.
- [Grover - 1996] Grover V, Jeong SR, Segars AH. Information system effectiveness: The construct pace and patterns of application. *Information and Management* 1996; 31(4): 117-191.
- [Guide APHP - 2006] Guide de la comptabilité analytique, AP-HP - direction économique et financière - département contrôle de gestion - service analyse de gestion. Version 3 du 1er mars 2006.
- [Gujarati - 2003] Gujarati D. *Basic Econometrics*. Columbus: McGraw-Hill Higher Education 2003: 227-34.
- [Hackett - 2010] Hackett Group [En ligne]. 2010, [réf. du 30 avril 2010]. Disponible sur: <http://www.thehackettgroup.com>
- [Haux - 2006] Haux R. Health information systems — past, present, future. *International Journal of Medical Informatics* 2006; 75: 268-81.
- [Hill - 2009] Hill J, Powell P. The national healthcare crisis: is eHealth a key solution? *Business Horizons*. 2009: 65-277.
- [Himmelstein - 2010] Himmelstein D, Wright A, Woolhandler S. Hospital Computing and the Costs and Quality of Care: A National Study. *The American Journal of Medicine*. 2010: 40-46.
- [HIMMS - 2010] HIMMS [En ligne]. 2010, [réf. du 30 avril 2010]. Disponible sur: <http://www.himssanalytics.org>
- [Hitt - 1994] Hitt L, Brynjolfsson E. *Creating value and destroying profit ? Three measures of information technology's contributions*. MIT Sloan school papers. 1994; décembre.
- [Hitt - 1996] Hitt LM, Brynjolfsson E. Productivity, business profit-ability, and consumer surplus: three different measures of information technology value. *MIS Quarterly*. 1996; 20(2): 121-142.
- [Hitt - 1999] Hitt LM, Snir EM. The role of information technology in modern production: complement or substitute to other inputs? *University of pennsylvania papers*. 1999; janvier.
- [Hoffman - 2008] Hoffman, T. Where ROI Models Fail. [En ligne]. 2008, [réf. du 30 avril 2010]. Disponible sur: <http://www.computerworld.com/managementtopics/roi/story/0,10801,78541,00.html>
- [Holland - 2007] Holland M. Perspective on the value of HIT investment. *Health Industry Insights*. [En ligne]. 2007, [réf. du 30 avril 2010]. Disponible sur: <http://www.healthindustry-insights.com/HII/getdoc.jsp?containerId=HI206330>
- [Hollingsworth - 1999] Hollingsworth B, Dawson PJ, Maniadakis N. Efficiency measurement of health care: a review of non-parametric methods and applications. *Health Care Manag Sci*. 1999; 2(3): 161-72
- [Holmes - 2000] Holmes RL, Schroeder RE, Harrington LF. Objective Risk Adjustment Improves Calculated Roi For Capital Projects. *Healthcare Financial Management*. 2000; 12.
- [Hoogeveen - 2002] Hoogeveen D, Oppelland HJ. A socio political model of the relationship between IT investments and business performance. *Proceedings of the 35th Hawaii International Conference on Systems Sciences*. 2002.

- [Hubbard - 2008] Hubbard RG, O'Brien AP. *Economics*. Upper Saddle River : Pearson Education Inc 2008: 335-66.
- [ITPMG - 2010] ITPMG [En ligne]. 2010, [réf. du 30 avril 2010]. Disponible sur: <http://www.itpmg.com>
- [Jorgenson - 2000] Jorgenson DW, Stiroh KJ. Raising the speed limit : US economic growth in the information age. *Brookings Papers on Economics Activity*. 2000; 1: 125-211.
- [Kaplan - 1996] Kaplan JG. The net present value of investments in health. *Med Interface*. 1996; 9(11): 94-6.
- [Kaushal - 2006] Kaushal R, Jha AK, Franz C, Glaser J, Shetty KD. Return on investment for a computerized physician order entry system. *J Am Med Inform Assoc*. 2006; 13(3): 365-7.
- [Kivijarvi - 1995] Kivijarvi H, Saarinen T. Investment in information systems and the financial performance of the firm. *Information and Management*. 1995; 28: 143-163.
- [Koc - 2004] Koc C. The productivity of health care and health production functions. *Health Econ*. 2004; 13(8): 739-47.
- [Kohn - 1999] Kohn LT, Corrigan JM, Donaldson MS, eds. *To Err Is Human: Building a Safer HealthSystem*. Institute of Medicine, Washington DC: National Academy Press; 1999.
- [Kumbhakar - 2006] Kumbhakar SC, Tsionas EG. Estimation of stochastic frontier production functions with input-oriented technical efficiency. *Journal of Econometrics*. 2006; 33: 71-96.
- [Labini - 1995] Labini P. Why the interpretation of Cobb-Douglas production function must be radically changed. *Structural change and economic dynamics*. 1995: 485-504.
- [Lee - 2000] Lee B, Menon N. Information technology value through different normative lenses. *Journal of Management Information Systems*. 2000; 16(4): 99-119.
- [Lehr - 1998] Lehr W, Lichtenberg FR. Computer use and productivity growth in US federal government agencies, 1987-92. *Journal of Industrial Economics*. 1998; 46: 257-279.
- [Li - 1999] Li R, Ye LR. Information technology and firm performance: linking with environmental, strategic and managerial contexts. *Information and Management*. 1999; 35: 43-51.
- [Lichtenberg - 1995] Lichtenberg F. The output contributions of computer equipment and personnel: a firm-level analysis. *Journal of Economic Innovation and New Technologies*. 1995; 3(4): 201-17.
- [Lin - 2000] Lin WT, Shao BM. Relative sizes of information technology investments and productive efficiency: Their linkage and empirical evidence. *Journal of the Association for Information Systems*, 2000; 1(7): 1-35.
- [Lin - 2006] Lin WT, Shao BM. The business value of information technology and inputs substitution: the productivity paradox revisited. *Decision Support Systems*. 2006; 42: 493-507.
- [Lovell - 1993] Lovell CAK. *Production frontiers and production efficiency in The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications*. New-York : Oxford University Press, 1993.
- [Loveman - 1994] Loveman GW. An assessment of the productivity impact of information technologies, in: T.J. Allen, M.S. Scott Morton (Eds.),

- Information Technology and the Corporation of the 1990s : Research Studies*. Oxford : Oxford University Press, 1994: 84-110.
- [Mahmood - 1993] Mahmood M, Mann GJ. Measuring the organizational impact of information technology investment: an exploratory study. *Journal of Management Information Systems*. 1993; 10(1): 97-122.
- [Marakas - 1994] Marakas GM, Robey D. Managing impressions with information technologies. *Proceedings of the 1994 computer personnel research conference on Reinventing IS: managing information technology in changing organizations: managing information technology in changing organizations*. 1994: 15-22.
- [Mas - 2008] Mas N, Seinfeld J. Is managed care restraining the adoption of technology by hospitals? *Journal of Health Economics* 2008; 27: 1026–1045.
- [Maynard - 2000] Maynard A, Kanavos P. Health economics: an evolving paradigm. *Health Econ*. 2000; 9: 183-190.
- [McGrath - 2004a] McGrath R, Ferrier WJ, Mendelow AL. Real Options as Engines of Choice and Heterogeneity. *Academy of Management Review*. 2004; 29(1): 86-101.
- [McGrath - 2004b] McGrath, R and Nerkar, A. Real Options Reasoning and a New Look at the R&D Investment Strategies of Pharmaceutical Firms. *Strategic Management journal*. 2004; 25: 1-21.
- [McGuckin -1998] McGuckin R, Streitwieser M, Doms M. The effect of technology use on productivity growth. *Economics of Innovation and New Technology*. 1998; 7: 1-27.
- [McGuckin - 2000] McGuckin RH, Stiroh KJ. Computers and productivity: Are aggregation effects Important? *Economic Inquiry*. 2002; 40(1): 42-59.
- [McLean - 1998] McLean RA. Cost-volume-profit and net present value analysis of health information systems. *Top Health Inf Manage*. 1998; 19(1): 39-47.
- [Meltzer - 2001] Meltzer MI. Introduction to health economics for physicians. *The Lancet*. 2001; 358: 993-8.
- [Menachemi - 2005] Menachemi N, Brooks RG. *Exploring the return on investment associated with health information technologies*. Florida State University College of Medicine: Center for Patient Safety. 2005: 15-45.
- [Menachemi - 2006] Menachemi N, Burkhardt J, Shewchuk R, Burke D, Brooks RG. Hospital Information Technology and Positive Financial Performance: A Different Approach to Finding a ROI. *Journal of Healthcare Management*. 2006; 51(1).
- [Menachemi - 2008] Menachemi N, Saunders C, Chukmaitov A, Brooks R. Hospital quality of care: Does information technology matter? The relationship between information technology adoption and quality of care. *Health Care Manage Rev*. 2008; 33(1): 51-59.
- [Menon - 2000] Menon N, Lee B, Eldenburg L. Productivity of information systems in the healthcare industry, *Information Systems Research*. 2000; 11(1): 83-92.
- [Meyer - 2007] Meyer R, Degoulet P, Omnes L. Impact of Health Care Information Technology on Hospital Productivity Growth: a Survey in 17 Acute University Hospitals. *Medinfo* 2007; 12(1): 203-7.

- [Meyer - 2008] Meyer R, Degoulet P. Assessing the capital efficiency of healthcare information technologies investments: an econometric perspective. *IMIA Yearbook of Medical Informatics*. 2008; 3: 114-27.
- [Meyer - 2010a] Meyer R, Degoulet P. Choosing the Right Amount of Healthcare Information Technologies Investments. *International Journal of Medical Informatics*. 2010; 79: 225-31.
- [Meyer - 2010b] Meyer R, Degoulet P. L'économie des systèmes d'information hospitaliers. *Gestions hospitalières*. 2010; 495(avril): 250-255.
- [Morrison - 1990] Morrison CJ, Berndt ER. Assessing the Productivity of Information Technology Equipment in the U.S. Manufacturing Industries. *National Bureau of Economic Research Working Paper*. 1990; 3582.
- [Mulhally - 2009] Mulhally J. Econometric modeling of health care costs and expenditures: a survey of analytical issues and related policy considerations. *Med Care*. 2009; 47: S104–S108.
- [Osei-Brison - 2004a] Osei-Brison KM, Ko M. Exploring the relationship between information technology investments and firm performance using regression splines analysis. *Information & management*. 2004; 42: 1-13.
- [Osei-Brison - 2004b] Osei-Brison KM, Ko M. The productivity impact of information technology in the healthcare industry: an empirical study using a regression spline-based approach. *Information & Software Technology*, 2004; 46: 65-73.
- [Palladium - 2010] Palladium Group [En ligne]. 2010, [réf. du 30 avril 2010]. Disponible sur: <http://www.thepalladiumgroup.com>
- [Palmer - 2004] Palmer AJ, Annemans L, Roze S, Lamotte M, Lapuerta P, Chen R, et al. Cost-effectiveness of early irbesartan treatment versus control or late irbesartan treatment in patients with type 2 diabetes, hypertension, and renal disease. *Diabetes Care*. 2004; 27(8): 1897-903.
- [Pekka - 1997] Pekka T, Hannu S. The Economic evaluation of Medical Information Systems. *A research paper presented at the 18th Nordic Health Economists' Study Group Meeting*. 1997; 22-23 Aout: 21.
- [Philips - 2004] Philips Z, Ginnelly L, Sculpher M, Claxton K, Golder S, Riemsma R, et al. Review of guidelines for good practice in decision-analytic modelling in health technology assessment. *Health Technology Assessment*. 2004; 8:36.
- [Pilat - 2004] Pilat D. The ICT productivity paradox: insights from micro data. *OECD Economic Studies*. 2004; 38: 37-65.
- [Poon - 2008] Poon SK, Davis JG, Choi B. Augmenting productivity analysis with data mining: An application on IT business value. *Expert Systems with Applications*. doi:10.1016/j.eswa.2007.12.028, 2008.
- [Prasad - 1997] Prasad B, Harker P. Examining the contribution of information technology toward productivity and profitability in US retail banking. *Working paper no. 97-09, Financial Institutions Center, The Wharton School*. 1997.
- [Pugh - 2004] Pugh MD. *Dashboards and scorecards : tools for creating alignment*, in *The healthcare quality book*, Health Administration Press Chicago, 2004: 213-40.
- [Ransom - 2004] Ransom SB, Joshi MS, Nash DB. *The Healthcare quality book: vision, strategy and tools*. Chicago : Health Administration Press, 2004.

- [Rendina - 2000] Rendina MC. A net present value analysis of neonatal telecardiology. *Telemed Today*. 2000; 8(2): 23-5.
- [Romer - 1994] Romer PM. The Origins of Endogenous Growth. *Journal of Economic Perspectives*. 1994; 8(1): 3-22.
- [Ross - 2006] Ross A, Ernstberger K. Benchmarking the IT productivity paradox: recent evidence from the manufacturing sector. *Mathematical and computer modelling*. 2006; 44: 30-42.
- [Saltelli - 2007] Saltelli A, Ratto M, Andres T, Campolongo F. *Global Sensitivity Analysis. The Primer*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2007.
- [Schulman - 2006] Schulman J, Kuperman GJ, Kharbanda A, Kaushal R. Discovering How to Think about a Hospital Patient Information System by Struggling to Evaluate It: A Committee's Journal. *J Am Med Inform Assoc*. 2006; 14: 537-541.
- [Shao - 2000a] Shao BM. *Investigating the value of information technology in productive efficiency: an analytic and empirical study*. State University of New York, Buffalo: Ph.D. dissertation, 2000.
- [Shao - 2000b] Shao BM, Lin WT. Examining the determinants of productive efficiency with IT as a production factor. *Journal of Computer Information Systems*. 2000; 1: 25-30.
- [Shao - 2001] Shao BM, Lin WT. Measuring the value of information technology in technical efficiency with stochastic production frontiers, *Information and Software Technology*. 2001; 43: 447-456.
- [Shao - 2002] Shao BM, Lin WT. Technical efficiency analysis of information technology investments: a two-stage empirical investigation. *Information and Management*. 2002; 39: 391-401.
- [Shekelle - 2006] Shekelle PG, Morton SC, Keeler EB. *Costs and Benefits of Health Information Technology*. Prepared by the Southern California Evidence-based Practice Center under Contract No. 290-02-0003., Agency for Healthcare Research and Quality. Rockville, MD.: AHRQ Publication, April 2006 (Evidence Report/Technology Assessment No. 132. No. 06-E006).
- [Siegel - 1992] Siegel D, Griliches Z. *Purchased services, outsourcing, computers, and productivity in manufacturing*. In: Z. Griliches, Editor, *Output measurement in the service sector*. Chicago : University of Chicago Press. 1992: 429-58.
- [Siegel - 1997] Siegel D. The impact of computers on manufacturing productivity growth : A multiple-indicators, multiple-causes approach. *The Review of Economics and Statistics*. 1997; 79: 68-78.
- [Soh - 1993] Soh C, Markus ML. *Banking on information technology: converting IT spending into firm performance*. In: R Banker, R Kaufmann and M Mahmood. *Strategic Information Technology Management: Perspectives on Organizational Growth and Competitive Advantage*. Hershey: Idea Group Inc. Publishing, 1993: 375-404.
- [Soh - 1995] Soh C, Markus ML. How IT creates business value: a process theory synthesis. *Proceedings of the 16th International Conference on Information Systems, Amsterdam*. 1995: 9-41.
- [Solow - 1956] Solow RM. A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*. 1956; LXX: 65-94.
- [Solow - 1957] Solow RM. Technical change and the aggregate production function. *The Review of Economics and Statistics*. 1957: 312-20.

- [SSC - 2010] Stern Stewart & Co [En ligne]. 2010, [réf. du 30 avril 2010]. Disponible sur: <http://www.sternstewart.com>
- [Stadelmann - 2003] Stadelmann D. Fonction de production – illustration des propriétés pour l’analyse économique. Fribourg : Séminaire de l’université de Fribourg, 2003-2004.
- [Stiroh - 2002] Stiroh K. *Reassessing the Impact of IT in the Production Function*. New York: Federal Reserve Bank of New York, 2002.
- [Stratopoulos - 2000] Stratopoulos T, Dehning B. Does successful investment in information technology solves the productivity paradox? *Information and Management*. 2000; 38: 103-117.
- [Stroetmann - 2006] Stroetmann KA, Jones T, Dobrev A, et al. eHealth is worth it: the economic benefits of implemented eHealth solutions at ten European sites. Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities, 2006: 13-30.
- [Tan - 2005] Tan J. *e-Healthcare Information Systems: An Introduction for Students and Professionals*. San Francisco: Jossey-Bass, 2005.
- [Teo - 2000] Teo TSH, Wong PK, Chia EH. Information Technology (IT) investment and the role of a firm: an exploratory study. *International Journal of Information Management*. 2000; 20: 269-286.
- [Ulfelder - 2008] Ulfelder S. [En ligne]. 2008, [réf. du 30 avril 2010]. Disponible sur: http://www.computerworld.com/special_report/000/000/100/special_report_000000180_primary_article.jsp
- [Van de Velde - 2001] Van de Velde R, Degoulet P. *Clinical informations systems, a component based approach*, Springer-Verlag New-York Inc. 2001: 1-14.
- [Van der Loo - 1995] Van der Loo RP, Van Gennip EMSJ, Baker AR. Evaluation of automated information systems in health care: an approach to classifying evaluative studies. *Comput Methods Programs Biomed*. 1995; 48(1): 45-52.
- [Wang - 2003] Wang SJ, Middleton B, Prosser LA, Bardon CG, Carchidi PJ, Kittler AF, et al. A cost-benefit analysis of electronic medical records in primary care. *Am J Med* 2003; 114(5): 397-403.
- [Weill - 1992] Weill P. The relationship between investment in information technology and firm performance: a study of the valve manufacturing sector. *Information Systems Research*. 1992; 3-4: 307-333.
- [Wikipedia - 2010] Wikipedia – ROI [En ligne]. 2010, [réf. du 30 avril 2010]. Disponible sur: http://en.wikipedia.org/wiki/Return_on_investment.
- [Williams - 2007] Williams DR, Walker JA, Hammes PH. Real options reasoning in healthcare: an integrative approach and synopsis. *Journal of Healthcare Management*. 2007; 52(3): 170-86.
- [Yoshishito - 2000] Yoshishito S. Increased labor productivity and IT investmenst in the United States. *Bank of Japan Monthly Bulletin*. 2000 ;Février: 6-45.

7 Annexes

7.1 Cobb-douglas [Stadelmann 2003]

7.1.1 Introduction

La fonction de production Cobb-Douglas est utilisée dans presque tous les manuels d'économie politique. Néanmoins, la plupart des ouvrages ne donnent ni une définition ni une explication détaillée de cette fonction en ce qui concerne ses propriétés mathématiques. À cause de cela, beaucoup de notions dans l'analyse économique sont difficiles à saisir. À titre d'exemple, considérons le concept de la productivité marginale et la loi des rendements décroissants. De plus, une étude approfondie des propriétés de la fonction de production Cobb-Douglas peut mener à des calculs plus simples et à une meilleure compréhension des résultats de la recherche économique.

Cette annexe a pour objectif d'illustrer les propriétés mathématiques de la fonction Cobb-Douglas ainsi que son importance dans l'analyse économique. Nous allons tout d'abord explorer les bases théoriques de la fonction de production Cobb-Douglas. La partie principale de cette annexe sera consacrée aux propriétés mathématiques et aux explications économiques nécessaires pour mieux comprendre la fonction. L'annexe se termine avec une analyse des points controversés concernant la fonction de production Cobb-Douglas.

7.1.2 Bases théoriques

En théorie microéconomique comme en analyse macroéconomique, la notion de « fonction de production » est utilisée de manière générale. Les mathématiciens définissent une fonction comme une relation qui à tout élément d'un ensemble (de départ) fait correspondre un et un seul élément d'un autre ensemble (d'arrivée).

$$f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$$

$$x \rightarrow f(x)$$

Si l'ensemble de départ est formé de vecteurs ($x = [x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n] \in \mathbb{R}^n$) dont les éléments sont des quantités de facteurs et que l'ensemble d'arrivée est formé de quantités de produits ($f(x) \in \mathbb{R}^m$), l'emploi de la notion de fonction est justifiée. En général, on a donc $m < n$. Certains doutes peuvent toutefois naître quant à l'opportunité et quant à la possibilité de rendre par une simple relation mathématique des réalités aussi complexes que les relations de production. Le propos de cette annexe n'est pas d'intervenir dans ce débat.

Une fois admise la possibilité d'une fonction de production, les économistes considèrent ses caractéristiques : rendements marginaux des facteurs, élasticité de production des facteurs, rendements d'échelle, type de progrès technique, élasticité de substitution, et ainsi de suite. Pour déterminer concrètement la forme d'une fonction de production, l'on doit disposer de statistiques exprimant précisément ces caractéristiques. Or, dans le monde réel les différents aspects sont mélangés. Ainsi, pour une entreprise ou un marché déterminé, l'évolution du produit moyen par travailleur durant un certain laps de temps, dépend à la fois de l'influence du progrès technique, des économies d'échelle, ainsi que des économies externes. Cela rend plus difficile la détermination d'une fonction de production correcte et adéquate.

Un essai de dériver une fonction de production avait été fait en 1928 par le mathématicien C. Cobb et par l'économiste et sénateur P. Douglas. Ces auteurs ont trouvé une relation mathématique qui peut décrire d'une manière très simple à saisir les changements de l'*output* si on change les *inputs*. En général, elle peut être vue comme une fonction transformant les facteurs/inputs capital (noté K) et travail (noté L) dans un produit/output (noté Y)¹.

Pour les ensembles de base on écrit donc

$$y : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$$

On peut faire la distinction entre la fonction de production Cobb-Douglas générale (1) et la fonction stricte (2).

$$Y = y(K, L) = AK^\alpha L^\beta \quad \forall (0 < \alpha < 1) \text{ et } (0 < \beta < 1) \quad <1>$$

$$Y = y(K, L) = AK^\alpha L^{(1-\alpha)} \quad \forall (0 < \alpha < 1) \quad <2>$$

La fonction de production Cobb-Douglas générale implique des rendements d'échelle croissants (si $\alpha + \beta > 1$) ou décroissants (si $\alpha + \beta < 1$). La fonction de production Cobb-Douglas stricte, par contre, est utilisée sous l'hypothèse des rendements d'échelle constants. Si on prend le logarithme des fonctions (1) et (2) on obtient encore :

$$\ln Y = \ln y(K, L) = \ln A + \alpha \ln K + \beta \ln L \quad <3>$$

$$\ln Y = \ln y(K, L) = \ln A + \alpha \ln K + (1 - \alpha) \ln L \quad <4>$$

¹Brown M., *The Theory and Empirical Analysis of Production*, New York, London, Columbia University Press, 1967 ; pp. 16-22.

La fonction logarithmique est souvent plus facile à traiter que la fonction normale. Toutefois, les propriétés du calcul logarithmique doivent être considérées.

Comme chaque fonction linéaire, on peut représenter la fonction de production Cobb-Douglas sous forme matricielle. En prenant les fonctions logarithmiques (3) et (4) on pourrait écrire par exemple :

$$\ln Y = \ln A + \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ln K & \ln L \end{bmatrix} \quad <5>$$

$$\ln Y = \ln A + \begin{bmatrix} \alpha \\ 1 - \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ln K & \ln L \end{bmatrix} \quad <6>$$

Si les inputs sont nombreux, le calcul avec les matrices et les vecteurs est plus agréable. Toutes ces fonctions produisent des isoquants qui ont une pente négative et sont convexes vers l'origine. Jusqu'à présent la fonction de production Cobb-Douglas sert comme fondement pour beaucoup de travaux empiriques sur la croissance de la productivité des facteurs. Dans le cadre de cette annexe, nous allons nous concentrer sur la fonction de Cobb-Douglas stricte, parce qu'elle possède des caractéristiques plus intéressantes (par exemple l'homogénéité) que la fonction générale². Selon les travaux empiriques dans les années soixante, la fonction $Y = y(K, L) = AK^{0,25}L^{0,75}$ représente le fait qu'aux États-Unis environ 3/4 d'une augmentation de la production peut être attribuée au travail.

7.1.3 Propriétés mathématiques

La fonction de production Cobb-Douglas $Y = y(K, L) = AK^{\alpha}L^{(1-\alpha)}$ n'est rien d'autre qu'une relation mathématique à deux variables. La quantité de facteurs K et L utilisée dans le processus de production détermine la quantité d'output Y selon les valeurs données A , α et $(1-\alpha)$. Nous verrons que α et $(1-\alpha)$ représentent la rémunération du capital, respectivement la rémunération du travail. La valeur A peut être interprétée comme le niveau de technologie dans le secteur ou dans l'économie considérée. Selon les besoins on peut supposer des évolutions différentes du niveau technologique. Une évolution très simple est le progrès technique neutre, pour lequel on suppose que l'élasticité de substitution entre les facteurs reste la même. Ce développement correspond à une augmentation de la production avec la même quantité de facteurs utilisés qu'avant. C'est-à-dire qu'à cause du progrès technique nous sommes capables de produire une plus grande quantité avec les mêmes

²Wolff E. N., *The Economics of Productivity*. Cheltenham, E. Elgar Publishing Limited, 1997 ; p. 4.

inputs. La forme de la fonction de production du type Cobb-Douglas dans ce cas est $Y = y(K, L) = A(t)K^\alpha L^{(1-\alpha)}$ où le facteur multiplicatif $A(t)$ mesure les effets cumulatifs d'un changement de la technologie. Bien sûr, on pourrait imaginer d'autres modèles pour expliquer le développement technologique et le changement de la productivité des facteurs. Une analyse plus profonde des changements technologiques n'est toutefois pas l'objet de ce travail. Par conséquent, nous admettons que la valeur A est une constante (pour une analyse des changements de la productivité, voir les travaux dans ce domaine de R. M. Solow³).

7.1.3.1 Productivité marginale

La seule partie de la fonction de production qui nous intéresse à ce stade de l'analyse est celle pour laquelle la production augmente lorsque la quantité de l'un ou de l'autre facteur augmente. En termes mathématiques on dira que la fonction est croissante avec les quantités de travail et de capital. Il va de soi qu'on peut aussi imaginer que dans la réalité la production connaît des limites. Par exemple, si seulement un facteur augmente, il est difficile de concevoir que la production est toujours croissante. Si un facteur reste constant, un accroissement donné de l'autre devient de moins en moins efficace et entraîne une croissance de la production de moins en moins importante. Cette analyse de ce qui se passe « à la marge » est fondamentale dans l'étude des fonctions de production et par conséquent aussi pour l'analyse de la fonction de production Cobb-Douglas. Elle mène à la notion de productivité marginale. On parle à cet égard aussi de la loi des rendements décroissants : en augmentant la quantité utilisée d'un facteur, celle de l'autre restant fixe, on obtient une quantité supplémentaire de produits de moins en moins grande⁴. Au niveau macroéconomique, si un facteur de production existe en quantité limitée, la croissance économique mesurée par l'augmentation du produit par tête s'arrête fatalement sous l'effet de la loi des rendements décroissants.

Pour obtenir les productivités marginales de la fonction de production Cobb-Douglas on calcule les dérivées partielles de la fonction. On a :

$$\frac{\partial y(K, L)}{\partial K} = \alpha A K^{(\alpha-1)} L^{(1-\alpha)} = \alpha \frac{y(K, L)}{K} \quad <7>$$

³Solow R. M., Technical Change and the Aggregate Production Function, *The Review of Economics and Statistics*, 1957 ; 39(3) : pp. 312-320.

⁴Varian H. R., *Mikroökonomik*, 5. Auflage, München, Wien, Oldenburg Verlag, 2001 ; pp.60-61.

$$\frac{\partial y(K, L)}{\partial L} = (1 - \alpha)AK^\alpha L^{-\alpha} = (1 - \alpha)\frac{y(K, L)}{L} \quad <8>$$

où (7) est la productivité marginale du capital et (8) la productivité marginale du travail.

Si l'on pose :

$$\lim_{K \rightarrow \infty} \alpha \frac{y(K, L)}{K} = 0 \quad <9>$$

$$\lim_{L \rightarrow \infty} (1 - \alpha) \frac{y(K, L)}{L} = 0 \quad <10>$$

La conséquence de (9) et (10) est que la fonction de production Cobb-Douglas remplit la loi des rendements décroissants parce que les fonctions (7) et (8) convergent pour $K \rightarrow \infty$ et $L \rightarrow \infty$ vers zéro. Ainsi, pour une certaine valeur de L donnée, la croissance de l'output à cause d'une augmentation de K devient toujours plus petite. L'output augmente si K augmente mais l'accroissement de Y devient de plus en plus petit pour chaque unité supplémentaire de K. À titre d'exemple, supposons que 100 travailleurs doivent construire une route. Ils ont 80 pelles à leur disposition. Chaque pelle que l'on ajoute augmente leur productivité mais à partir de 100 pelles la productivité pour une pelle de plus n'augmente que très peu.

7.1.3.2 Relation d'Euler et rendements factoriels

Selon la relation d'Euler on a pour chaque fonction linéaire et homogène $z = f(x_1, x_2)$ la caractéristique suivante :

$$z = \frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_1} x_1 + \frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_2} x_2 \quad <11>$$

Pour la fonction de production Cobb-Douglas stricte, la productivité marginale du capital multipliée par le capital plus la productivité marginale du travail multipliée par le travail donne l'output. On applique (11) et les résultats de (7) et (8).

$$\begin{aligned} \frac{\partial y(K, L)}{\partial K} K + \frac{\partial y(K, L)}{\partial L} L &= \alpha \frac{y(K, L)}{K} K + (1 - \alpha) \frac{y(K, L)}{L} L = \\ \alpha y(K, L) + (1 - \alpha) y(K, L) &= Y \end{aligned} \quad <12>$$

De là, $\alpha y(K, L)$ est la rémunération du capital et $(1 - \alpha)y(K, L)$ est la rémunération du travail. La connaissance des propriétés de (12) peut simplifier énormément le calcul. Par ailleurs, les

exposants α et $(1-\alpha)$ correspondent aux élasticités partielles du capital respectivement du travail⁵ parce que :

$$\varepsilon_{Y,K} = \frac{\partial y(K,L)}{\partial K} \frac{K}{y(K,L)} = \alpha \frac{y(K,L)}{K} \frac{K}{y(K,L)} = \alpha \quad <13>$$

$$\varepsilon_{Y,L} = \frac{\partial y(K,L)}{\partial L} \frac{L}{y(K,L)} = (1-\alpha) \frac{y(K,L)}{L} \frac{L}{y(K,L)} = (1-\alpha) \quad <14>$$

7.1.3.3 Rendements d'échelle et économies d'échelle

Les rendements d'échelle donnent une réponse à la question d'un changement de la production à cause d'un changement dans les deux facteurs. Autrement dit, on cherche le nouvel output résultant d'une multiplication des inputs par une constante λ .

Il y a donc trois résultats possibles⁶ :

Le nouvel output correspond à λY . L'augmentation est donc $(\lambda-1)Y$. On parle de rendements d'échelle constants. Mathématiquement on a :

$$y(\lambda K, \lambda L) = \lambda y(K, L) \quad <15>$$

En général, c'est le cas le plus probable, parce qu'on peut imaginer que les entreprises sont capables de « copier » les méthodes de production qu'elles ont utilisées auparavant.

Le nouvel output correspond à un output plus grand que λY . On parle de rendements d'échelle croissants. Mathématiquement on a :

$$y(\lambda K, \lambda L) > \lambda y(K, L) \quad <16>$$

Il y a certaines technologies qui peuvent comporter des rendements d'échelle croissants, mais normalement seulement dans un certain laps de temps. À titre d'exemple, supposons un conduit de pétrole avec un rayon r et une longueur l . Dans ce cas, on a besoin de $l2r\pi$ unités de matériel pour un volume de $l r^2 \pi$. Si on double le rayon, on a besoin de $l4r\pi$ unités de matériel pour un volume de $l4r^2\pi$, qui a plus que doublé.

Le nouvel output correspond à un output moins grand que λY . On parle de rendements d'échelle décroissants. Mathématiquement on a :

$$y(\lambda K, \lambda L) < \lambda y(K, L) \quad <17>$$

⁵Varian H. R., *Mikroökonomik*, 5. Auflage, München, Wien, Oldenburg Verlag, 2001 ; pp.60-61.

⁶Samuelson P. A. et Nordhaus W. D., *Volkswirtschaftslehre*. Übersetzung der 15. Auflage, Frankfurt, Wien, Ueberreuter, 1998 ; pp. 32-33 et pp. 151-152.

Ce cas semble un peu étrange et la question se pose de savoir pourquoi les entreprises ne sont pas capables de simplement « copier » les méthodes de production. Il est possible d'expliquer ce phénomène pour une période courte, pendant laquelle quelques facteurs restent constants. Dans ce cas, on peut appliquer la loi des rendements décroissants (par exemple, la terre est toujours un facteur constant).

Les rendements d'échelle de la fonction de production Cobb-Douglas stricte sont constants selon (15), parce que cette fonction est homogène de premier degré selon (12). Si on multiplie K et L par λ on a :

$$y(\lambda K, \lambda L) = A(\lambda K)^\alpha (\lambda L)^{(1-\alpha)} = A\lambda^{\alpha + (1-\alpha)} K^\alpha L^{(1-\alpha)} = \lambda y(K, L) \quad <18>$$

Dès lors, une multiplication des facteurs capital et travail par le même scalaire λ mène à une augmentation de la production de λ fois⁷. Toutefois, il est possible de construire des fonctions à rendements non constants, i.e. dont la somme des exposants des variables $\alpha + \beta \neq 1$. On parle alors de fonction de type Cobb-Douglas générale.

Le phénomène des économies d'échelle se rattache à la notion de rendements d'échelle qui relie les variations de quantité du bien produit avec celles des produits nécessaires à sa fabrication. Si la quantité produite augmente proportionnellement plus vite que les quantités de facteurs utilisés, les rendements d'échelle sont croissants, on est en présence d'économies d'échelle. Dans le monde économique, on admet globalement l'existence d'économies d'échelle dans l'industrie. Dans les services, les avis sont plus partagés. Les sources des économies d'échelle sont multiples. Au niveau de l'organisation de l'entreprise elles proviennent de la division du travail et de l'indivisibilité des équipements. Une grande entreprise pourra mettre en œuvre une meilleure spécialisation des tâches et une production importante permet d'utiliser tous les facteurs de production. Pour ce dernier point, la taille minimale des équipements nécessaires est parfois très élevée (dans l'industrie lourde) et seule une production massive permet de faire face aux coûts fixes. Cependant, accroître la taille d'une entreprise peut générer des déséconomies d'échelle : lourdeur administrative excessive ou problèmes de communication entre les différents services.

⁷Johansen L., *Production Functions - An Integration of Micro and Macro, Short Run and Long Run Aspects*. Amsterdam, London, North-Holland Publishing Company, 1972 ; pp. 67-68.

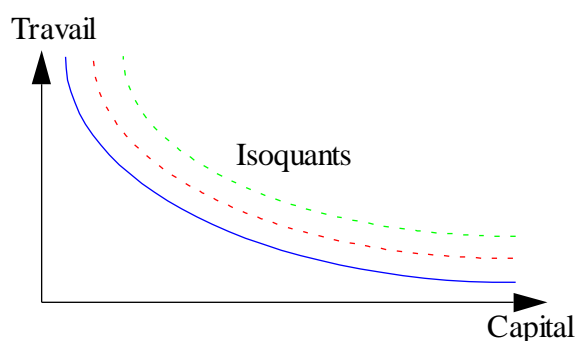
7.1.3.4 Surface de production et isoquants

La fonction de production Cobb-Douglas est une relation à deux variables. Par conséquent, elle peut être représentée comme une surface dans l'espace. Chaque point de cette surface est une combinaison de quantités K et L . En augmentant un facteur sans modifier l'autre le produit augmente mais moins rapidement qu'en augmentant les deux facteurs en même temps et selon leurs élasticités partielles α et $(1-\alpha)$. Un changement technologique $A_{t+1} > A_t$, où t est un intervalle de temps, augmenterait le niveau de tous les points de la production à $[1 + (A_{t+1} - A_t)]Y$.

Pour le cas de deux inputs, il y a une possibilité très pratique d'illustrer les relations de production. On utilise à cet effet les isoquants, qui représentent toutes les combinaisons possibles des facteurs K et L pour atteindre un certain output donné. Pour une valeur $Y = \bar{y}$ constante et donnée la fonction admet des isoquants de production⁸ :

$$Y = \bar{y} = AK^\alpha L^{(1-\alpha)} \Leftrightarrow L = l(K) = \left(\frac{\bar{y}}{AK^\alpha} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} = \left(\frac{\bar{y}}{A} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} K^{\frac{-\alpha}{1-\alpha}} \quad <19>$$

Si les quantités des facteurs sont doublées, l'isoquant double son écart vers l'origine. Bien entendu, aussi un développement de la technologie change l'écart des isoquants vers l'origine. Si $A_{t+1} > A_t$, l'output augmente avec la même quantité d'inputs et les isoquants se déplacent vers la droite.



7.1.3.5 Taux marginal et élasticité de substitution entre les facteurs

Il est souvent utile de calculer la pente des isoquants. Cette pente est connue en analyse économique comme étant le taux marginal de substitution entre les facteurs. Cela vient du fait que le taux marginal de substitution mesure le potentiel de substitution entre les facteurs capital et travail. Admettons par exemple qu'un certain nombre d'inputs du facteur

⁸Wittmann W., *Produktionstheorie*, Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1968 ; p. 141.

capital n'est plus disponible. Pour atteindre le même niveau de production, il faut augmenter le facteur travail. Le taux marginal de substitution donne l'accroissement de travail nécessaire.

En utilisant la fonction de production Cobb-Douglas on suppose qu'une substitution entre le capital et le travail est toujours possible (substitution parfaite entre les facteurs)⁹.

Le taux marginal de substitution pour une valeur $Y = \bar{y}$ constante est défini comme la dérivée totale :

$$\bar{dy} = 0 = \frac{\partial y(K, L)}{\partial K} dK + \frac{\partial y(K, L)}{\partial L} dL \quad <20>$$

Avec quelques transformations on obtient :

$$\frac{dL}{dK} = \frac{\frac{\partial y(K, L)}{\partial K}}{\frac{\partial y(K, L)}{\partial L}} \quad <21>$$

On applique encore la valeur absolue dans (21) pour ne pas devoir traiter des valeurs négatives. Par conséquent, on a :

$$\left| \frac{dL}{dK} \right| = \left| \frac{\frac{\partial y(K, L)}{\partial K}}{\frac{\partial y(K, L)}{\partial L}} \right| \quad <22>$$

Une autre manière de calculer le taux marginal de substitution est par la valeur absolue de la dérivée (on n'applique pas la dérivée totale mais la dérivée partielle avec une variable) de (19) par rapport à K où $\bar{y} = AK^\alpha L^{(1-\alpha)}$:

$$\left| \frac{dL}{dK} \right| = \left| \frac{dl(K)}{dK} \right| \quad <23>$$

Le résultat pour la fonction de production Cobb-Douglas en utilisant la méthode (22) est donc :

$$\left| \frac{dL}{dK} \right| = \left| \frac{\alpha \frac{y(K, L)}{K}}{(1-\alpha) \frac{y(K, L)}{L}} \right| = \left| \frac{\alpha L}{(1-\alpha) K} \right| \quad <24>$$

Selon la méthode (23) on obtient :

⁹Paelinck J.H.P., Meester J.-C., *Fonction de production néo-classique dérivée de fonctions technologiques : la fonction C.E.S. non homogène*, Namur, Facultés Universitaires N.-D. de la Paix, 1968 ; pp. 215-18

$$\begin{aligned}
\left| \frac{dL}{dK} \right| &= \left| \frac{dl(K)}{dK} \right| = \left| \left(\frac{\bar{y}}{A} \right)^{\frac{1}{(1-\alpha)}} \frac{-\alpha}{(1-\alpha)} K^{\frac{-\alpha}{(1-\alpha)}-1} \right| = \\
&= \left| (K^\alpha L^{(1-\alpha)})^{\frac{1}{(1-\alpha)}} \frac{-\alpha}{(1-\alpha)} K^{\frac{-\alpha}{(1-\alpha)}-1} \right| = \left| \frac{-\alpha}{(1-\alpha)} L K^{\frac{\alpha}{(1-\alpha)}} K^{\frac{-\alpha}{(1-\alpha)}-1} \right| = \\
&= \left| \frac{-\alpha L}{(1-\alpha)K} \right| = \left| \frac{\alpha L}{(1-\alpha)K} \right|
\end{aligned}
\tag{25}$$

Le dernier pas est possible parce que $K, L, \alpha, (1-\alpha) > 0$ ¹⁰. Le taux marginal de substitution est une possibilité de mesurer la capacité de substitution entre les facteurs. Mais la définition du taux marginal de substitution entre les facteurs dépend des unités de mesure de K et L . C'est-à-dire un changement des unités de mesure peut modifier le résultat de (22) et (23). Par conséquent, on introduit la notion d'élasticité de substitution. L'élasticité de substitution est indépendante des unités de mesure de K et L . Soient p_K et p_L les prix pour les facteurs de production.

L'élasticité de substitution σ est définie comme ¹¹ :

$$\sigma = \frac{d\left(\frac{L}{K}\right) \frac{K}{L}}{d\left(\frac{p_K}{p_L}\right) \frac{p_L}{p_K}}
\tag{26}$$

Faisons le calcul (dérivée totale) pour la fonction de production Cobb-Douglas stricte. Le numérateur de (26) est égal à :

$$d\left(\frac{L}{K}\right) \frac{K}{L} = \left(\frac{1}{K} dL - \frac{L}{K^2} dK \right) \frac{K}{L} = \frac{1}{L} dL - \frac{1}{K} dK
\tag{27}$$

On sait que la rémunération des facteurs dans un marché parfait est égale aux élasticités partielles :

$$p_K K = \alpha Y \Leftrightarrow p_K = \frac{\alpha Y}{K} \quad p_L L = (1-\alpha) Y \Leftrightarrow p_L = \frac{(1-\alpha) Y}{L}
\tag{28}$$

Par conséquent, le dénominateur (26) peut s'écrire :

¹⁰Varian H. R., *Mikroökonomik*, 5. Auflage, München, Wien, Oldenburg Verlag, 2001 ; pp.45-46.

¹¹Brown M., *The Theory and Empirical Analysis of Production*, New York, London, Columbia University Press, 1967 ; pp. 16-22.

$$d\left(\frac{\frac{\alpha Y}{K}}{\frac{(1-\alpha)Y}{L}}\right)\frac{(1-\alpha)Y}{L} = d\left(\frac{\alpha L}{(1-\alpha)K}\right)\frac{(1-\alpha)K}{\alpha L} =$$

$$\left(\frac{\alpha}{(1-\alpha)K}dL - \frac{\alpha L}{(1-\alpha)K^2}dK\right)\frac{(1-\alpha)K}{\alpha L} = \frac{1}{L}dL - \frac{1}{K}dK$$

<29>

Étant donné qu'on divise le résultat de (27) par le résultat de (29), on obtient pour K , L et $0 < \alpha < 1$ que $\sigma = 1$ ¹². En termes mathématiques, ce fait s'explique parce qu'il s'agit des isoquants d'une hyperbole.

En termes économiques, cela signifie que la combinaison productive varie dans la même proportion que les prix relatifs des facteurs. Si le prix du travail augmente (diminue) de 1 % par rapport au prix du capital, l'intensité du capital, i.e. la substitution de K à L va augmenter (diminuer) de 1 %.

7.1.4 Points controversés

La fonction de production Cobb-Douglas ne prend en considération que deux facteurs : le capital et le travail. Pour mener une analyse plus profonde, il faut se demander s'il n'y a pas d'autres facteurs. Samuelson, dans son manuel, fait toujours référence au sol et aux ressources naturelles comme « *cadeau de la nature* ». Selon lui, aussi des ressources comme l'air, l'eau et le climat doivent être considérées pour la production nationale. Par conséquent, la fonction Cobb-Douglas ne donne qu'une image très simplifiée en ce qui concerne les facteurs de production. Pourtant, on pourrait imaginer que les ressources naturelles mentionnées par Samuelson peuvent être incluses dans le facteur capital¹³. Or, on pourrait aussi construire une fonction homogène avec plusieurs variables. Une telle fonction a les mêmes caractéristiques que la fonction de production Cobb-Douglas à deux variables.

Prenons comme exemple la relation suivante :

$$Y = y(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n) = Ax_1^\alpha x_2^\beta \dots x_{n-1}^\psi x_n^\zeta$$

<30>

où $\alpha + \beta + \dots + \psi + \zeta = 1$. Définissons $x_1 :=$ travail, $x_2 :=$ capital, $x_3 :=$ sol, $x_4 :=$ climat, et ainsi de suite. La fonction (30) prend en considération tous les facteurs que l'on définit et sa

¹²Samuelson P. A. et Nordhaus W. D., *Volkswirtschaftslehre*. Übersetzung der 15. Auflage, Frankfurt, Wien, Ueberreuter, 1998 ; pp. 32-33 et pp. 151-152.

¹³Samuelson P. A. et Nordhaus W. D., *Volkswirtschaftslehre*. Übersetzung der 15. Auflage, Frankfurt, Wien, Ueberreuter, 1998 ; pp. 32-33 et pp. 151-152

logique économique ainsi que ses propriétés mathématiques sont équivalentes aux propriétés présentées dans le chapitre 3 de cette annexe.

En étudiant la fonction de production, on a cherché à établir une fonction continue et homogène. En réalité il se pose le problème de l'existence des fonctions continues et homogènes.

Pour appliquer le calcul différentiel, il est indispensable que la fonction soit continue. Cela implique l'hypothèse de substituabilité parfaite des facteurs. Dans certains secteurs, la substituabilité entre le capital et le travail est plus grande que dans d'autres secteurs. Néanmoins, cette substituabilité n'est jamais parfaite¹⁴. Le capital et le travail ne peuvent pas prendre n'importe quelle valeur positive, comme l'on suppose en utilisant la fonction de production Cobb-Douglas.

Aussi la supposition d'une fonction homogène ne correspond pas complètement à la réalité des faits. Il serait possible de construire des fonctions non homogènes du type Cobb-Douglas, mais d'autres fonctions seraient aussi concevables. On aurait donc une fonction de production qui représente mieux la production de l'économie nationale. Toutefois, les fonctions homogènes ont des caractéristiques très agréables pour le calcul. Par exemple, on peut aisément transformer une fonction homogène dans une matrice et vice-versa. Par ailleurs, la fonction de production sert souvent comme base pour la modélisation économique. Si cette fonction est difficile à saisir, l'élaboration du modèle devient encore plus compliquée. Par conséquent, les économistes se contentent d'une fonction de production Cobb-Douglas stricte (homogène) pour travailler avec des approximations¹⁵.

La détermination de la fonction de production Cobb-Douglas exige l'agrégation des facteurs. Or, dans le monde réel il est difficile d'agréger les différents types de capital et aussi de travail, surtout si on doit encore considérer les différentes technologies utilisées dans des secteurs distincts. En particulier, l'agrégation du facteur capital pose des problèmes à cause de ses formes diverses dans le processus de production. Seulement en admettant des conditions très rigides concernant l'agrégation, la fonction ainsi déterminée peut représenter la réalité.

¹⁴Arrow K.J., Chenery H.B., Minhas B.S., Solow R.M., Capital-Labor Substitution and Economic Efficiency. *The Review of Economics and Statistics*, 196 : 43(3) ; p. 225.

¹⁵Wittmann W., *Produktionstheorie*, Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1968 ; p. 140.

Pourtant, sous l'hypothèse d'une agrégation correcte des données, la fonction de production Cobb-Douglas est souvent une bonne approximation de la réalité. Par conséquent, elle est fréquemment utilisée comme base dans beaucoup de modèles économiques. Le problème principal est donc l'agrégation des données et pas l'utilisation d'une fonction approximative et simple pour les représenter¹⁶.

Bien que la fonction de production Cobb-Douglas ait une forme mathématique très simple, l'estimation et l'identification de cette fonction par l'utilisation des données de secteurs différents peuvent être très compliquées. Souvent les données sont limitées et dépendantes. C'est-à-dire que les données d'un secteur peuvent être à la base de la construction des variables de l'autre secteur. Une identification exacte est donc difficile. De plus, les comportements changent et, surtout, les technologies se développent. Cela complique le traitement statistique. On est obligé d'émettre des hypothèses concernant les dépendances des données, l'interprétation statistique et économique des variables et des résultats, le comportement des acteurs économiques, et ainsi de suite. De surcroît, l'économie n'est pas un objet statique. Or, avec des données statiques déjà fragiles il est encore plus difficile de représenter un processus dynamique de développement¹⁷.

¹⁶Fisher F.M., *Aggregation - Aggregate Production Functions and Related Topics*, New York, London, Harvester-Wheatsheaf, 1992 ; pp. 9-12.

¹⁷Nerlove M., *Estimation and Identification of Cobb-Douglas Production Functions*, Chicago, Amsterdam, North-Holland Publishing Company, 1965 ; pp. 1-5.

7.2 Article de synthèse paru dans Gestions Hospitalières (n° :495 – Avril 2010)

Gestions Hospitalières est une revue tirée à plus de 2000 exemplaires papiers avec un taux de circulation de 5 au sein des équipes de direction des hôpitaux publics francophones. Cette revue possède une ligne éditoriale indépendante liée à l'actualité hospitalière orientée vers le retour d'informations du quotidien vécu, partagé et commenté par des professionnels.

La revue ouvre ses colonnes aux auteurs désireux de faire publier tout article ayant trait aux problèmes de santé, d'organisation, de gestion, de technologie concernant les services hospitaliers. Les auteurs font parvenir leur texte en exclusivité à la revue. Avant d'être publiés, les articles sont soumis au comité de lecture qui juge de l'opportunité d'une publication. Le comité se réserve le droit de modifier la présentation générale et de suggérer des modifications, soumises à l'avis des auteurs.

Il nous a paru intéressant de montrer que ce domaine de recherche intéresse considérablement les acteurs/décideurs du monde hospitalier et qu'il devrait pouvoir trouver des mises en œuvre concrètes sous leur impulsion.

MOTS CLÉS

Hôpital
TIC
SIH
Économie
Comptabilité
Investissement
Retour
sur investissement
Économétrie



dossier

TIC ET HÔPITAL

L'économie des systèmes d'information hospitaliers

Peu d'études ont été entreprises pour évaluer les bénéfices financiers des systèmes d'information hospitaliers (SIH), en particulier dans le contexte d'une stratégie globale d'informatisation des processus. À partir d'exemples significatifs, les auteurs illustrent et discutent les résultats et les limites des études visant à quantifier le retour sur investissement des SIH. Ils militent pour le développement, à l'échelon français comme européen, d'un observatoire de l'état d'informatisation des hôpitaux, seul à même de mesurer, à moyen et long termes, l'impact des investissements qui devront nécessairement être effectués pour combler le retard français dans le secteur.

Depuis le début des années 1970, les technologies de l'information et de la communication (TIC) occupent une place croissante dans le secteur de la santé. Au niveau des structures hospitalières, trois grandes catégories de bénéfices peuvent être escomptées (*tableau 1*). Les bénéfices organisationnels ont été les premiers observés avec une réduction des tâches cléricales, une amélioration de la prise en charge des processus de soins ou administratifs, une réduction de la durée des séjours par comparaison avec l'évolution spontanée des hôpitaux ne disposant pas de systèmes d'informations hospitaliers (SIH) intégrés. Sur le plan clinique, l'amélioration de la prise en charge coordonnée des soins et le développement d'outils d'aide à la décision permettent de réduire la iatrogénie médicale, en particulier médicamenteuse et, dans certains cas, la morbidité et la mortalité ⁽¹⁾. À l'inverse, peu d'études ont été réalisées pour évaluer les bénéfices financiers des SIH, en particu-

lier dans le contexte d'une stratégie globale, de type portfolio, d'informatisation des processus. Qui plus est, les résultats parfois contradictoires des premiers travaux amènent régulièrement les décideurs du milieu hospitalier à faire des choix basés essentiellement sur la valorisation financière de bénéfices organisationnels ou cliniques espérés mais non confirmés au regard des sommes importantes engagées ⁽²⁾.

Les méthodes financières et comptables

Le retour sur investissement (RSI ou *Return on investment*, ROI) est le rapport de la somme d'argent gagnée ou perdue lors d'un investissement sur la somme d'argent investie. La somme gagnée ou perdue est communément dénommée « résultat net », « gain/perte » ou encore « profit/perte ». On se référera à l'argent investi avec les termes « capital » ou « actif ». Le RSI peut représenter le retour sur un investissement passé, en cours ou futur, mais généralement il est calculé sur une base annuelle calendaire ou fiscale. Lorsque le gain compense le capital investi, on dit

Rodolphe MEYER
Service d'informatique
médicale
Hôpitaux universitaires
de Genève, Genève

Patrice DESOULET
Département
d'informatique
hospitalière
Hôpital européen
Georges-Pompidou
Université Descartes,
Paris

que l'on a atteint le seuil de rentabilité. Il existe de nombreux modèles financiers pour calculer le RSI ou essayer de l'estimer le plus correctement possible. Les méthodes les plus répandues sont l'analyse coût/bénéfice (ACB), la valeur actuelle nette (VAN) et le taux de rentabilité interne (TRI). Il existe aussi des méthodes qui prennent en compte la mesure du risque des investissements d'un projet : analyse de rentabilité, analyse de sensibilité, analyse de scénarios, coût moyen du capital pondéré, approche par option réaliste... Par ailleurs, de nombreuses sociétés de consulting ont développé leurs propres méthodes d'analyse de l'impact des projets TIC ⁽³⁾.

TABLEAU 1
Catégories de bénéfices des SIH*

	Cliniques	Organisationnels	Financiers
Tangibles	<ul style="list-style-type: none"> ↳ Iatrogénie ↳ Mortalité/morbidité ↳ Perte d'information ↳ Délivrance médicaments 	<ul style="list-style-type: none"> ↳ Coûts de transcription ↳ Matériels/papiers ↳ Durée de séjour ↳ Parcours de soins 	<ul style="list-style-type: none"> ↗ Revenus ↗ Productivité ↗ Remboursement ↗ RSI
Intangibles	<ul style="list-style-type: none"> ↗ Éducation du patient ↗ Sécurité du patient ↗ Standardisation ↗ Alignement clinique 	<ul style="list-style-type: none"> ↗ Coordination des soins ↗ Disponibilité information ↗ Satisfaction utilisateur ↗ Alignement organisationnel 	<ul style="list-style-type: none"> ↳ Contentieux ↗ Relation avec caisses ↗ Image de l'hôpital ↗ Alignement financier

* Adapté de R. Meyer, P. Degoulet, Assessing the capital efficiency of healthcare information technologies investments: an econometric perspective, *IMIA Yearbook of Medical Informatics*, 2008;114-27.

L'analyse coût/bénéfice (ACB)

L'ACB correspond au quotient des bénéfices totaux apportés par un projet spécifique sur la somme des investissements mis en œuvre pour le réaliser. Un rapport supérieur à 1 indique un RSI positif. Mais aussi simple que ce calcul puisse paraître, les données nécessaires à sa réalisation sont loin d'être simples à réunir.

Une étude récente utilisant l'ACB a été commanditée par la Commission européenne (Direction générale de l'information de la société et des médias, Bruxelles) ⁽⁴⁾. Dix sites européens, avec des implémentations TIC très variées (dossier patient électronique local ou national, aide à la prescription, aide à la décision clinique...) ont été évalués. Les coûts et les bénéfices ont été identifiés, calculés et ramenés à leurs valeurs en euros, en prenant en considération tous les acteurs du milieu hospitalier (citoyens, professionnels, tiers payeurs, débiteurs, prestataires externes...). Les résultats obtenus indiquent que les dix sites sélectionnés ont obtenu un impact financier positif des déploiements effectués.

Une autre étude intéressante, car plus détaillée, a été réalisée au Brigham and Women's Hospital (centre universitaire de 720 lits d'adultes) de Boston, en 2006, pour évaluer le rapport coût/bénéfice du système de prescription par ordinateur (CPOE) ⁽⁵⁾. Entre 1993 et 2002, cette institution a dépensé 11,8 millions de dollars pour développer, déployer et maintenir son CPOE. Au cours de ces dix années, le système aurait permis d'économiser 28,5 millions de dollars. Les plus grandes économies ont été réalisées sur l'optimisation du temps de travail des infirmières, l'adaptation des doses liées à la fonction rénale, l'aide à la prescription de médicaments spécifiques et la prévention des effets indésirables. Ces investissements substantiels ont toutefois mis six ans pour atteindre le seuil de rentabilité. Surtout, les bénéfices calculés résultent essentiellement d'une valorisation financière de la réduction de la iatrogénie médicale, estimée à partir de données de la littérature, et non

d'une augmentation réelle et constatée des revenus ou de l'efficacité de l'établissement par rapport à des établissements comparables.

La valeur actuelle nette (VAN)

La VAN est la différence entre les cash-flows calculés à partir d'une date t_0 et le capital investi. On calcule pour chaque période à venir (correspondant à la période d'utilisation prévue de l'investissement) les recettes et les dépenses générées par l'investissement, puis on détermine les flux économiques de l'investissement. On actualise ensuite les flux nets annuels à la date d'investissement pour comparer l'ensemble au montant initial de l'investissement. En d'autres termes, c'est la somme des bénéfices nets durant la vie du projet ajustée au coût du capital. La VAN est donc un indicateur de la plus-value qu'apporte un investissement ou un projet à l'entreprise, ce qui permet de déterminer si un investissement est rentable ou non. L'approche suppose une identification exhaustive des coûts. Elle est bien appropriée aux projets sur le long terme. Peu d'évaluations de projets TIC ayant utilisé cette méthode ont été publiées montrant une VAN positive. Toutefois, l'une d'elles, publiée en 2000, a montré que la télécardiologie en néonatalogie, en plus d'améliorer la qualité des soins, était rentable dans la région de Washington DC ⁽⁶⁾.

NOTES

(1) P. Arlotto, J. Oakes, *Return on investment: maximizing the value of healthcare information technology*, Chicago, HIMMS, 2003.

A.X. Garg et al., "Effects of Computerized clinical decision support systems on practitioners performance and patient outcomes: a systematic review", *JAMA* 2005; 293: 1223-38

(2) K. Featherly, D. Garets, M. Davis, P. Wise, P. Becker, "Sharpening the Case for Returns on Investment from Clinical Information Systems", *Electronic Healthcare*, 006, 5, 3: 101-110.

(3) R. Meyer, P. Degoulet, *Assessing the capital efficiency of healthcare information technologies investments: an econometric perspective*, IMIA Yearbook of Medical Informatics, 2008;114-27.

(4) K.A. Stroetmann, T. Jones, A. Dobrev, V.N. Stroetmann, *eHealth is worth it: the economic benefits of implemented eHealth solutions at ten European sites*, Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities, 2006.

(5) R. Kaushal, A.K. Jha, C. Franz, J. Glaser, K.D. Shetty, "Return on investment for a computerized physician order entry system", *J Am Med Inform Assoc*, 2006, 13, 3: 365-7.

(6) M.C. Rendina, "A net present value analysis of neonatal telecardiology", *Telemed Today*, 2000, 8, 2: 23-5.

NOTES

(7) http://www.nl.capgeminil.com/resources/case_studies/swedish_hospital/

(8) C.M. Christensen, S.P. Kaufman, W.C. Shih, "Innovation Killers: How Financial Tools Destroy Your Capacity to Do New Things", *Harvard Business Review*, 2008, 86, 1: 98-105.

Le taux de rentabilité interne (TRI)

Très proche de la VAN, le TRI correspond à la comparaison entre le montant des fonds investis et la valeur actuelle de l'entreprise rapportée à la durée de l'investissement. Le TRI est un taux de rentabilité propre à chaque projet d'investissement. Ce taux ne permet pas de déterminer, dans l'absolu, si un investissement est rentable ou non pour un investisseur. En revanche, c'est un outil d'arbitrage entre différents projets d'investissement : l'investisseur choisira celui pour lequel le TRI est le plus élevé. Une étude de 2010 réalisée par Cap Gemini et utilisant le TRI a montré que l'hôpital suédois de Seattle avait réalisé 74 % de TRI et remboursé en treize mois son projet d'informatisation de la documentation clinique aux urgences, augmentant conjointement les revenus par patients de 3 % et la capacité d'accueil de 10% (7).

Les limites des méthodes comptables et économiques

De par leur nature intrinsèque, les méthodes comptables ne prennent pas en compte les aspects les moins tangibles de l'impact des TIC. L'amélioration de la satisfaction des utilisateurs (professionnels et patients) est un exemple typique. L'impact potentiel est clair, mais il reste complexe à traduire financièrement. Ces méthodes ont également tendance à sous-estimer certains aspects du capital TIC. Les approches comptables vont ainsi biaiser les études qui prennent en compte la production liée aux investissements TIC puisqu'une partie de la production analysée sera le fruit d'actifs invisibles sur un plan comptable, sauf à ajuster en permanence les périodes d'amortissement. L'exemple le plus évident est représenté par les nombreux éléments du parc informatique de l'hôpital qui dépassent leur délai habituel d'amortissement de cinq ans et restent en activité, bien que non valorisés dans le capital TIC.

L'acuité des modèles de calcul de RSI se dégrade en proportion de leur complexité. Il existe au moins quinze modèles d'analyse RSI que les décideurs peuvent utiliser pour les TIC, ce qui est finalement problématique, car plus la méthode est compliquée, plus elle sera chronophage et pourra empiéter sur le temps consacré au projet global. Isoler un projet informatique hospitalier pour essayer d'en mesurer la valeur ajoutée n'est pas toujours pertinent. Ou, comme Steve Ulfeder l'a mentionné dans les colonnes de *Computerworld*, « l'idée qu'il existe des projets TIC doit être abandonnée. Il n'existe que des projets visant à améliorer les processus..., à développer de nouveaux produits ou services, à améliorer la prise en charge des utilisateurs ou à améliorer les performances ».

Finalement, les outils financiers et comptables, lorsqu'ils sont utilisés pour évaluer un investissement futur, peuvent freiner les velléités d'innovation. Ou, comme l'a dit CM Christensen dans la *Harvard Business Review* de janvier 2008, « ils détournent les ressources des investissements dont la rentabilité ne se situe pas dans un horizon immédiat » (8).

L'approche économétrique

L'économétrie est une branche de l'économie qui s'est développée pour appliquer des techniques de calcul mathématiques et statistiques aux principes de l'économie moderne. La mise en application des méthodes économétriques au niveau d'une entreprise (microéconomie) est possible. Dans ce cadre, la mesure de l'efficacité du capital se fera grâce à l'utilisation des fonctions de production ou de coût.

Fonctions de production

Il est commun, depuis le milieu du XVIII^e siècle, de relier la croissance et la productivité d'une entreprise aux éléments, ou facteurs de production, utilisés pour générer un produit ou un service et ainsi éclairer les résultats observés. L'explication de la croissance économique par l'action conjointe de facteurs de production débouche sur la notion de fonction de production, c'est-à-dire une relation mathématique établie entre la production (*output*) et les facteurs mis en œuvre pour l'obtenir (*inputs*). La première fonction reliant la production (*Y*), le capital (*K*) et le travail (*L*) fut proposée par l'économiste américain Paul Douglas et le mathématicien Richard Cobb. Les études initiales avec cette fonction, effectuées à partir des années 1930, ont concerné le secteur industriel, puis ont été étendues à tous les secteurs économiques. En 1956, le prix Nobel d'économie Robert Solow a amélioré la fonction en lui adjoignant un facteur (le « résidu de Solow ») prenant en compte le niveau technologique. La fonction ainsi adaptée se représente sous la forme :

$$Y = AK^\alpha L^\beta$$

où *Y* représente la production, *A* le résidu de Solow, *K* le capital, *L* la quantité de travail ramenée à sa valeur financière. Alpha (α) et bêta (β), appelés « coefficients d'élasticité », représentent la part de chaque *input* (*K* et *L*) dans l'explication de valeur de l'*output* (*Y*). Le capital est défini comme la somme des investissements des années précédentes, déduction faite des amortissements. En utilisant les propriétés ma-

thématiques de la fonction il est possible d'ajouter une troisième variable $T^{(9)}$: elle représente la part des TIC expliquant l'output et construite par soustraction du capital TIC de K et de la part d'emplois dédiés aux TIC dans L , puis par leur addition pour donner T qui aura un coefficient d'élasticité propre représenté par gamma (γ) :

$$Y = AK^\alpha L^\beta T^\gamma$$

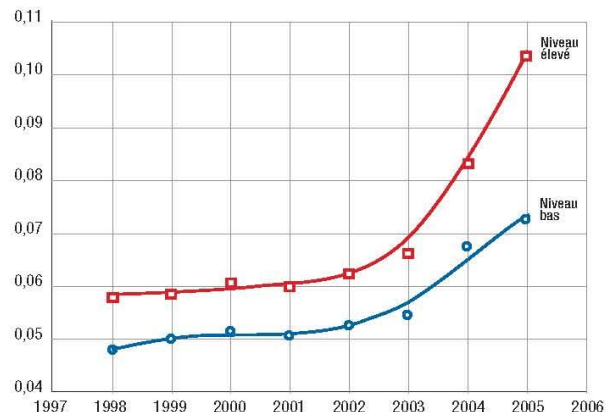
Le tableau 2 illustre les résultats de ces analyses pour différentes périodes et différents secteurs de production. La dernière ligne concerne dix-sept des trente-huit hôpitaux de l'Assistance publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP), sélectionnés en fonction de leur taille (plus de 350 lits) et de leur activité (soins aigus et courts séjours)⁽⁹⁾. Les données utilisées dans cette étude vont de 1998 à 2005. En utilisant une fonction de Cobb-Douglas les liens entre la production et trois différents inputs (capital, quantité de travail, technologies de l'information) ont été évalués en supposant leur élasticité de substitution constante. Ces résultats montrent qu'il est pertinent d'utiliser l'analyse économétrique dans le secteur hospitalier. En outre, avec une part de travail dans les hôpitaux supérieure à ce qui est généralement admis dans les secteurs industriels et de services en France, les éléments apportés par la fonction de production de Cobb-Douglas soulignent l'importance du facteur humain dans l'explication des résultats de production d'un hôpital.

Les calculs tendent également à révéler que la part de TIC expliquant la production observée était environ 1,7 fois plus importante dans les six structures (sur les dix-sept) ayant fortement investi dans un SIH intégré. Cette tendance augmente au fil du temps (figure 1).

Fonctions de coût et qualité des soins

En 2007, Pricewaterhouse Coopers (PwC) et des chercheurs à la Wharton School de l'université de Pennsylvanie ont publié une analyse macroéconomique portant sur les coûts et la qualité de plus de 2000 hôpitaux des États-Unis sur une période allant de 1999 à 2004⁽¹⁰⁾. L'objectif était de confirmer les relations entre les investissements TIC et différentes mesures de performance de l'hôpital. L'échantillon a été divisé en deux parties : hôpitaux à but lucratif et non lucratif. L'analyse économétrique

FIGURE 1
Importance de la part des TIC
en fonction du niveau d'intégration*



* Adapté de R. Meyer, P. Degoulet, L. Omnes, "Impact of Health Care Information Technology on Hospital Productivity Growth: a Survey in 17 Acute University Hospitals", *Medinfo*, 2007, 12, 1: 203-7.

utilisée a abouti à une fonction de coût. Elle montre que des niveaux élevés d'investissement TIC sont corrélés avec une optimisation des coûts et des performances comptables et que cette amélioration semble augmenter au fil du temps. Les investissements dans les hôpitaux de soins aigus sont associés à une réduction des dépenses de fonctionnement, mais seulement après que les hôpitaux ont atteint un certain niveau d'investissement. En d'autres termes, les premières étapes d'acquisition des technologies de l'information sont déficitaires jusqu'à ce qu'une « masse critique » soit atteinte ; à ce point, la relation devient

NOTES

(9) R. Meyer, P. Degoulet, L. Omnes, "Impact of Health Care Information Technology on Hospital Productivity Growth: a Survey in 17 Acute University Hospitals", *Medinfo*, 2007, 12, 1: 203-7.

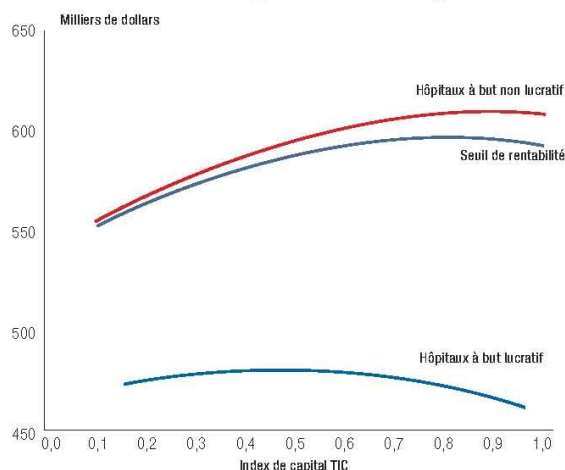
(10) N. Beard, K. Elo, L.M. Hitt, M.G. Housman, G. Mansfield, "Information technology and hospital performance: An econometric analysis of costs and quality", [En ligne novembre 2008] PricewaterhouseCoopers : <http://www.pwc.com/healthcare>, 2007.

TABLEAU 2
Coefficients d'élasticité des inputs dans différentes études*

Auteur	Étude	Année	Méthode	Capital (α)	Travail (β)	TIC (γ)	R ²
Hitt	Sociétés US (1988-1992)	1996	Cobb-Douglas	0,228	0,686	0,031	0,951
Hitt	Sociétés US (1988-1992)	1999	Cobb-Douglas	0,130	0,730	0,110	0,940
Lin	Sociétés US (1988-1992)	2000	Translog	0,124	0,789	0,160	0,975
Shao	Sociétés US (1988-1992)	2001	Translog	0,212	0,704	0,062	n.a.
Bresnahan	Sociétés US (1976-1992)	2002	Cobb-Douglas	0,138	0,753	0,035	0,908
OseiBrison	Hôpitaux US (1976-1992)	2004	Translog	0,212	0,663	0,088	0,970
Meyer	AP-HP (1998-2005)	2007	Cobb-Douglas	0,168	0,765	0,085	0,970

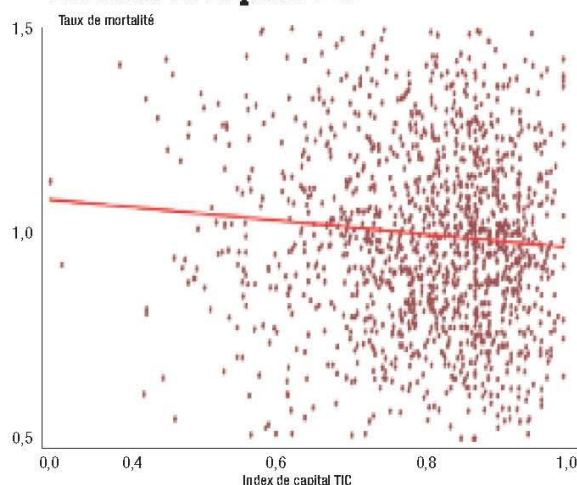
* Adapté de R. Meyer, P. Degoulet, L. Omnes, "Impact of Health Care Information Technology on Hospital Productivity Growth: a Survey in 17 Acute University Hospitals", *Medinfo*, 2007, 12, 1: 203-7.

FIGURE 2
Effet de l'ajustement temporel
de deux années de l'index du capital
sur les coûts opérationnels par lit*



* Adapté de N. Beard, K. Elo, L.M. Hitt, M.G. Housman, G. Mansfield, "Information technology and hospital performance: An econometric analysis of costs and quality".

FIGURE 3
Taux de mortalité ajusté
et index de capital TIC*



* Adapté de N. Beard, K. Elo, L.M. Hitt, M.G. Housman, G. Mansfield, "Information technology and hospital performance: An econometric analysis of costs and quality".

neutre sur une période de temps variable pour finalement devenir positive. Un autre résultat intéressant est la démonstration d'un décalage significatif entre la mise en œuvre de la technologie et la réalisation des bénéfices. Des réductions de coûts peuvent être observées la même année que l'acquisition des TIC mais, généralement, il faut au minimum deux ans pour atteindre le seuil de rentabilité. Ce décalage peut être visualisé à la figure 2 où les performances annuelles des hôpitaux sont liées avec les valeurs de l'indice du capital mesuré deux ans plus tôt. Les hôpitaux à but non lucratif semblent parvenir à une plus petite réduction des coûts que les hôpitaux à but lucratif et atteignent leurs seuils de rentabilité à des niveaux plus élevés de capital TIC investis.

Dans cette même étude, les hôpitaux ayant des niveaux plus élevés d'investissements en TIC avaient un taux de mortalité inférieur (risque ajusté en fonction du *case-mix*) (figure 3). L'effet est indépendant des coûts par lit, mais il faut avouer que la pente observée est très faible et la variabilité très élevée. Le taux de mortalité n'est sans doute pas le meilleur indicateur de qualité, mais comme l'indique N. Beard, « le taux de mortalité est accepté comme faisant partie d'un ensemble stable de mesures qui forment un indicateur raisonnable de la qualité des soins », faisant de cette observation une première indication très encourageante.

Si la relation entre TIC et productivité a la forme d'un U renversé, il devient essentiel d'estimer, pays par pays, l'optimum TIC *versus* non-TIC, puis d'engager des stratégies d'investissement permettant de se rapprocher de cet optimum. En 2009 ⁽¹¹⁾, nous avons pu, sur les données de vingt et un hôpitaux aigus de l'AP-HP recueillies entre 1998 et 2006, calculer les coefficients d'élasticité des *inputs* TIC (capital + travail) *versus* ceux des non-TIC (capital + travail) pour optimiser la distribution des investissements selon la productivité associée à chaque *input* (formule 3) :

$$Y = A(\overline{IT})^\alpha (IT)^\beta$$

Une des propriétés intéressantes des coefficients d'élasticité réside dans leur définition intrinsèque. En effet, ils assurent qu'il est possible de substituer un facteur pour un autre, dans une certaine limite, en garantissant le même niveau de production. Il est ainsi possible de calculer un taux marginal de substitution technique (TMST) en faisant varier les *inputs* pour obtenir le même *output*. Les résultats sur les données de l'AP-HP montrent qu'il faut ajouter 0,252 unité de TIC pour compenser la substitution d'une unité non TIC. Dans ce cadre, nous obtenons une productivité moyenne des TIC à 23,6 et une productivité marginale des TIC de 2,5. En considérant le chiffre de production 2006 comme objectif d'*output* financier et en se basant sur les calculs précédents, la valeur des *inputs* non TIC aurait pu être réduite à 3,870 milliards d'euros, soit -15,5 % de la valeur 2006 de 4,581 milliards d'euros (tableau 3). Il aurait fallu parallèlement augmenter les *inputs* TIC par un facteur de 3,35 et les faire passer d'une valeur de 137 millions à 459 millions d'euros, c'est-à-dire 10,6 % de la totalité des *inputs*. De plus, cette répartition optimale aurait permis, potentiellement, d'économiser 388 millions d'euros pour obtenir le même niveau de production.

Discussion et conclusion

Si les investissements TIC ont longtemps été considérés dans les hôpitaux comme un mal inéluctable, les études comptables ou économétriques publiées ces dernières années laissent penser qu'il pourrait s'agir d'un mal nécessaire. L'optimum de 10,6 % trouvé par un modèle économétrique sur les données de l'AP-HP est peut-être surestimé si l'on accepte que la loi des rendements décroissants s'applique au secteur de la santé comme aux autres secteurs de l'économie. Ce chiffre est cependant largement supérieur aux chiffres constatés en France (1 à 2 %) ou aux États-Unis (4 à 7 %) et il peut se comparer à ceux observés dans des secteurs forts dépendant des TIC comme la banque ou l'assurance.

Dans les économies avancées, les TIC sont une source prometteuse de croissance de la productivité, mais elles n'auront que peu de contribution directe sur la performance globale d'un hôpital si elles ne sont pas combinées avec des investissements complémentaires dans le capital humain, les pratiques de travail et certaines restructurations organisationnelles. L'évaluation de l'impact des TIC dans les hôpitaux doit franchir cette étape et prendre en compte la totalité des *inputs* avec la globalité des *outputs*, quelle que soit la source de chacun d'eux.

Dans un contexte général d'incitation aux économies et à la durabilité, on peut regretter que le monde de la santé se déplace progressivement de la médecine factuelle à la médecine fructueuse (ou du moins rentable basée sur des indicateurs de rapports coût/efficacité élevés). Cette évolution sera d'autant moins sujette à critique que les gains de productivité seront réinvestis partiellement ou totalement dans l'alignement clinique et la qualité. L'absence, en France (et en Europe), d'un observatoire des SIH et de leur état de déploiement et d'utili-

TABLEAU 3
Modèle d'optimisation
des investissements TIC
sur vingt et un hôpitaux de l'AP-HP*

Calcul du rapport optimisé en milliards d'euros		
	Valeurs 2006	Valeurs optimales
Y	3,156	3,156
TIC	4,581	3,870
TIC + TIC	0,136	0,459
TIC + TIC	4,718	4,329
Économies	-	0,388

* Adapté de R. Meyer, P. Degoulet, "Choosing the Right Amount of Healthcare Information Technologies Investments", *International Journal of Medical Informatics*, 2010, 79: 225-31.

sation, tel que le HIMMS Analytics ⁽¹²⁾, représente un obstacle majeur à toute stratégie de gouvernance informatique dans le secteur de la santé. Au niveau des hôpitaux, elle ne permet pas aux décideurs de se situer en termes de « maturité informatique » par rapport à des hôpitaux de même nature ou situation géographique. Au niveau des industriels, elle ne permet pas aux acteurs d'évaluer l'évolution de leur offre dans une situation de globalisation du marché. À l'échelon national, elle ne permet pas d'évaluer les effets des différents plans de relance économique et d'accélération des investissements en TIC dans la santé, tel que l'ARRA aux États-Unis ⁽¹³⁾. ●

NOTES

(11) R. Meyer, P. Degoulet, "Choosing the Right Amount of Healthcare Information Technologies Investments", *International Journal of Medical Informatics*, 2010, 79: 225-31.

(12) <http://www.himssanalytics.org>

(13) D. Blumenthal, "Stimulating the Adoption of Health Information Technology", *N Engl J Med*, 2009; 360(15): 1047-9.

7.3 Informations complémentaires

L'étude de 2007 [Meyer - 2007] a fait l'objet d'une communication en Français aux sessions plénières de la Société Suisse d'Informatique Médicale en 2008 à Sierre où elle a obtenu le prix de la meilleure communication scientifique.

Référence : Impact des technologies de l'information sur la production hospitalière. *Swiss Medical Informatics* 2008;64:4-8.

L'approche économétrique et ses potentialités ont été présentées aux sessions plénières des Journées Francophones d'Informatique Médicale de Nice en 2009.

Référence : L'approche économétrique pour évaluer l'intérêt financier des systèmes d'informations hospitaliers. *Journées francophones d'informatique médicale*, Nice, France, 2009. In *Risques, technologies de l'information pour les pratiques médicales*, Springer-Verlag France, Paris, 2009; 3-14.

Une communication de synthèse en Français sur le thème des bénéfices liés aux technologies de l'information hospitalières a été donnée aux sessions plénières de la Société Suisse d'Informatique Médicale en 2009 à Berne.

Référence : Retour sur investissement des systèmes d'information hospitaliers, nouvelles approches. *Swiss Medical Informatics* 2009; 67: 61-65.

8 Index

Actipidos - PAS.....	36	modèle économétrique	8, 62
alignement.....	61, 65	output.....	8, 38, 44, 65, 78, 81, 82, 84
<i>American Recovery and Reinvestment Act</i>	15	PM	42, 44
amortissement.....	41	PMA.....	45
AP-HP	8, 10, 35, 41, 42, 43, 62, 67	PMSI	35, 43
Assistance publique	35	PNM.....	42
bénéfices directs.....	15	portfolio	7, 9, 15, 64
bénéfices financiers.....	7, 17	productivité des facteurs	40, 79, 80
bénéfices indirects.....	15	productivité marginale.....	45, 77, 80, 81
Cobb-Douglas.....	38, 39, 40, 47, 77	productivité moyenne.....	44, 45
coefficient d'élasticité.....	40, 43, 44, 45, 47, 53	progrès technique	39, 40, 78, 79
comptabilité analytique.....	41, 42, 43, 67	ratio	13, 43, 45, 53
décalage	61	recettes d'exploitation	35, 40, 41
DGF	41	recettes de groupe 3	41
économétrie	7, 43, 53, 62	rémunération du capital	79, 81
économie d'échelle.....	39	rémunération du travail.....	79, 81
élasticité de substitution	39, 40, 78, 79, 84, 86	résidu.....	40, 43
Euler.....	81	résidu de Solow	39, 40
facteur de dépréciation	41	résultats de production.....	47
facteurs de production	38, 39, 40, 83, 86, 87	retour d'échelle.....	44
Fonction de production	7, 8, 43, 84	retour sur investissement	7, 16, 17, 61, 64
gouvernance	47, 63, 66	Robert Solow	15, 40
HEGP	35, 36, 37, 38	ROI	16, 17
HIMMS Analytics.....	63	RSI.....	17, 19
infrastructure.....	41	SPIM	11
input.....	8, 38, 40, 44, 45, 65, 78, 79, 82, 84	taux de rentabilité interne	18
INSERM	5, 11	Taux marginal de substitution technique	44
isoquants.....	79, 83, 84, 86	TMST.....	44
MCO	35, 36	TRI.....	18
méthodes comptables	7, 17, 18	valeur actuelle nette	17, 18
microéconomie	7, 19, 47, 53	VAN.....	17, 18
minimisation des coûts.....	45		

« Le plus simple des écoliers sait maintenant des vérités pour lesquelles Archimède eu donné sa vie... »

Ernest Renan